



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A  
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND  
ROBOTICS

## ZDVIHACÍ A MANIPULAČNÍ ZAŘÍZENÍ PRO PODVĚSNÉ PŘÍSLUŠENSTVÍ LETADLA

LIFTING AND HANDLING EQUIPMENT FOR AIRCRAFT OVERHEAD ACCESSORIES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. VLADIMÍR KAŠE

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN PAVLÍK, Ph.D.

BRNO 2012



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2011/12

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Vladimír Kaše

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Výrobní stroje, systémy a roboty (2301T041)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Zdvihací a manipulační zařízení pro podvěsné příslušenství letadla**

v anglickém jazyce:

### **Lifting and handling equipment for aircraft overhead Accessories**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zdvihací a manipulační zařízení sloužící k manipulaci s podvěsným příslušenstvím letadel do max. hmotnosti 600 kg a maximální výšky zdvihu 1400mm by mělo být řešeno jako manipulační s možností volného pohybu, podvěšení bez pomoci dalších osob. Zařízení by mělo umožňovat rovněž vlečení max. rychlostí 15 km/h bez břemene a 5 km/h při maximálním zatížení.

Cíle diplomové práce:

Důkladná analýza problematiky

Návrh variant řešení

Konstrukční návrh vybrané varianty - 3D model,

Výpočtová dokumentace včetně dimenzování hlavních částí      Výkresová dokumentace vybraných uzlů

Seznam odborné literatury:


MAREK, J. Konstrukce CNC obráběcích strojů, 2006. ISBN 1212-2572  
zdroje dostupné na webu výrobců

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jan Pavlík

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12.

V Brně, dne 15.11.2011



  
doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
Ředitel ústavu

  
prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan

**Abstrakt:**

Diplomová práce řeší konstrukční návrh mobilního manipulačního zařízení pro podvěsné příslušenství letadla. Na začátku jsou popsány různé druhy používaných manipulátorů. Následně se zabývá několika možnostmi řešení daného problému. Hlavní část práce je zaměřena na konkrétní řešení konstrukce manipulačního zařízení, včetně pevnostních a kontrolních výpočtů.

**Klíčová slova:**

Manipulátor, rám manipulátoru, paralelogram, zvedací zařízení, hydraulický systém, pevnostní výpočet.

**Abstract:**

The thesis is dealing with the design proposal of mobile handling equipment for the aircrafts' overhead accessory. In its initial part it describes different types of manipulators in use, following by several possibilities how to solve the problematics. The main part of the thesis is focused on concrete solution and construction of such manipulating facility, including the strength and control calculations.

**Keywords:**

Manipulator, manipulator frame, parallelogram, lifting mechanism, hydraulic systém, strenght calculation.

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

KAŠE, V. *Zdvihací a manipulační zařízení pro podvěsné příslušenství letadla*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 96 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Pavlík, Ph.D..

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího diplomové práce pana Ing. Jana Pavlíka, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne .....

.....

Bc. Vladimír Kaše





## PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat všem, kteří mně byli nápomocni při tvorbě diplomové práce. Zejména vedoucímu práce Ing. Janu Pavlíkovi, Ph.D. za cenné rady a poskytnutí informací ke splnění této závěrečné práce.

Dále bych chtěl poděkovat všem, kteří mi byli oporou v celém období studia na vysoké škole.

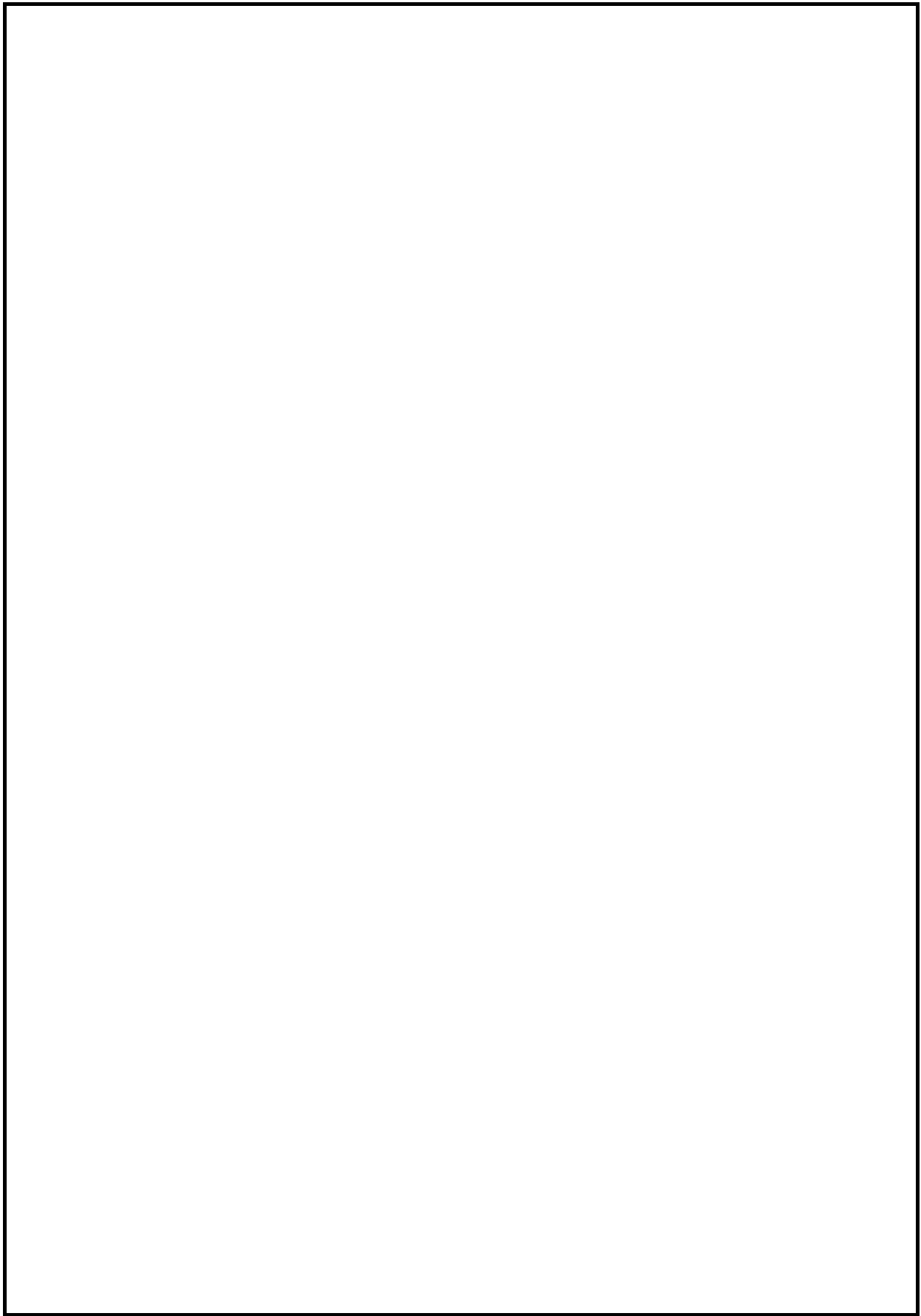


## OBSAH

<b>1</b>	<b>Úvod .....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>Manipulační a zvedací zařízení .....</b>	<b>16</b>
2.1	Manipulační a zvedací zařízení s pohonnou jednotkou .....	16
2.1.1	Zbraňový nakladač A / S 32K-1A/1B/1C SATS .....	16
2.1.2	Vysokozdvíhový nakladač AERO 47A, 47A AERO-1, A-7 MJ .....	17
2.1.3	Vysokozdvíhový nakladač MHU-83 .....	19
2.1.4	Vysokozdvíhový vozík MJ-1 .....	20
2.1.5	Vysokozdvíhový vozík na munici Sovam .....	21
2.2	Manipulační a zvedací zařízení bez pohonné jednotky .....	22
2.2.1	Nakládací vozík AERO 33 D/E .....	22
2.2.2	Manipulační vozík MK 7 A .....	24
2.2.3	Manipulační vozík MJ-3 .....	25
2.2.4	Nůžkový vozík .....	26
<b>3</b>	<b>Varianty řešení manipulátoru .....</b>	<b>28</b>
3.1	Nůžkový manipulační vozík .....	28
3.1.1	Možnosti řešení pohonu .....	29
3.2	Vysokozdvíhový vozík s manipulačním ramenem .....	30
3.3	Manipulátor s paralelogramem .....	31
<b>4</b>	<b>Návrh konstrukce manipulátoru .....</b>	<b>33</b>
4.1	Kinematické schéma manipulátoru .....	33
4.2	Horní rám manipulátoru .....	34
4.2.1	Určení stupně statické neurčitosti .....	34
4.2.2	Průběh výsledných vnitřních účinků .....	37
4.2.3	Volba materiálu horního rámu .....	40
4.3	Zdvihací pákový mechanismus manipulátoru .....	42
4.3.1	Výsledné hodnoty $R_x$ , $R_y$ , $R_z$ .....	42
4.3.2	Výpočet ozubeného mechanismu .....	46
4.3.3	Páka mechanismu .....	47
4.3.4	Výpočet páky .....	48
4.3.5	Volba materiálu .....	49
4.4	Nosný rám manipulátoru .....	50

4.4.1	Volba materiálu .....	51
4.4.2	Výpočet nosníku pro hydraulický válec .....	51
4.4.2.1	Hodnoty pro výpočet z katalogového listu .....	51
4.4.2.2	Výpočet napětí $\sigma$ .....	52
4.4.3	Kontrola profilu nosného rámu .....	54
4.4.3.1	Extrémní zatížení 1 .....	54
4.4.3.2	Extrémní zatížení 2 .....	55
4.4.3.3	Extrémní zatížení 3 .....	56
4.4.3.4	Vyhonocení MKP .....	57
4.5	Kola nosného rámu .....	57
4.5.1	Kola manipulačního zařízení .....	57
4.5.2	Otočný uzel .....	58
4.5.3	Ohybový moment na ose kola .....	59
4.5.4	Maximální síla působící na osu kola při tahu, tlaku .....	61
4.6	Vlečné a manipulační oje .....	62
4.6.1	Volba materiálu .....	62
4.6.2	Výpočet na tah, na vzpěr .....	63
4.7	Hydraulický systém .....	65
4.7.1	Přímočarý teleskopický hydromotor .....	66
4.7.2	Přímočarý hydromotor .....	66
4.7.3	Hydraulické čerpadlo .....	67
<b>5</b>	<b>Kontrolní výpočty .....</b>	<b>68</b>
5.1	Teleskopický přímočarý jednočinný hydromotor .....	68
5.1.1	Kontrola hydromotoru na vzpěr .....	68
5.1.1.1	Hydromotor v základní poloze .....	68
5.1.1.2	Hydromotor v maximálně vysunuté poloze .....	69
5.1.2	Šroub uchycení hydromotoru k hlavnímu rámu .....	70
5.2	Čep uchycení manipulačního oje .....	71
5.3	Čepy uchycení pák k rámcům .....	72
5.4	Přímočarý dvojčinný hydromotor .....	73
5.4.1	Výpočet zatěžující síly .....	74
5.4.2	Kontrola nosníku na ohyb .....	74

5.4.3	Kontrola hydromotoru na vzpěr.....	75
5.4.3.1	Hydromotor v základní poloze .....	76
5.4.3.2	Hydromotor v maximálně vysunuté poloze.....	77
5.4.4	Čepy uchycení hydromotoru.....	79
5.5	Osa předního kola .....	80
5.6	Osa zadního kola.....	81
5.7	Kontrola stability .....	82
5.7.1	Zatěžující síla od proudění vzduchu .....	82
5.7.2	Rovnovážná poloha.....	83
5.7.3	Podmínky provozu zařízení .....	84
6	<b>Závěr .....</b>	<b>85</b>
7	<b>Seznam zkratk.....</b>	<b>86</b>
8	<b>Seznam použitých zdrojů .....</b>	<b>91</b>
9	<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>93</b>
10	<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>95</b>
11	<b>Seznam grafů.....</b>	<b>95</b>
12	<b>Seznam příloh.....</b>	<b>96</b>
13	<b>Seznam výkresové dokumentace .....</b>	<b>96</b>



## 1 Úvod

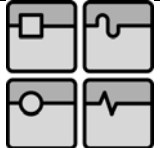
Vynález letadla byl zásadním okamžikem v historii lidstva. Znamenal revoluci v dopravě, obchodu, a ve vojenském využití nastroval rychlý proces technologických změn. Mimo to, schopnost člověka létat zůstala dodnes jedním z nejvýznamnějších úspěchů lidstva.

Již od počátku konstruktéři přemýšleli, jak využít letadlo<sup>1)</sup>. Po vypuknutí I. světové války bylo nejdříve používáno na průzkum prostorů bojišť. V krátké době se započalo s vyzbrojováním letadel. Během období válečného konfliktu šel vývoj mílovými kroky dopředu a na konci této války již bylo letectvo rozděleno na různé specializace dle jejich použití, jako např. stíhací, bombardovací, bitevní, dopravní průzkumné atd.

Tato specializace letadel kladla různé nároky na vybavení a příslušenství. Již v tomto období technici přemýšleli, jak co nejrychleji doplnit palivové nádrže letadla palivem a vyzbrojit letoun, aby mohl být co v nejkratším čase opět použit. Postupně se začaly vyrábět různé manipulační vozíky, které umožňovaly jak dopravu materiálu k letounu, tak jeho doplnění a vybavení dle specifikace.

Za tímto účelem byla vypracována moje diplomová práce, která je zaměřena na konkrétní konstrukční řešení manipulačního prostředku. Dále ji tvoří přehled používaných konstrukcí manipulačních zařízení pro podvěšování výzbroje a speciálních kontejnerů na leteckou techniku, a návrhy možného řešení.

<sup>1)</sup> Podle normy ČSN 310001 je letadlo: "Zařízení způsobilé létat v atmosféře nezávisle na zemském povrchu, nést na palubě osoby nebo jiný náklad, je schopné bezpečného vzletu a přistání a je alespoň částečně říditelné." [ 17 ]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 16
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

## 2 Manipulační a zvedací zařízení

V krátkém přehledu jsou uvedena zařízení, která slouží k podvěšování výzbroje, speciálních podvěsných kontejnerů nebo přídavných palivových nádrží na letadla. Některá z těchto zařízení umožňují nakládání a vykládání materiálu z letadel. Tato manipulační zařízení lze rozdělit na dvě skupiny:

- **Manipulační a zvedací zařízení s pohonnou jednotkou**

Tato zařízení mají pro vlastní pohyb a manipulaci s materiálem zabudovanou pohonnou jednotku. Buď spalovací nebo elektrický motor. Tyto motory jsou určeny jak k samotnému pohybu manipulátoru po určených plochách, tak i k pohonu hydraulických čerpadel, která zabezpečují tlakovou energii pro hydraulický systém, který následně ovládá pohyb manipulačních ramen.

- **Manipulační a zvedací zařízení bez pohonné jednotky**

Tato zařízení jsou řešena jako vlečná. Samotná manipulace se zařízením je závislá na lidské síle. Manipulace s břemenem je zabezpečena hydraulickým systémem. Tlaková energie je většinou zabezpečena ručními hydraulickými pumpami.


### 2.1 Manipulační a zvedací zařízení s pohonnou jednotkou

#### 2.1.1 Zbraňový nakladač A / S 32K-1A/1B/1C SATS

Vysokozdvíhné zařízení A / S 32K-1A/1B/1C SATS na obr.1 je konstrukčně řešeno jako nízkopodlažní vozidlo. Na hlavní rám je namontováno šest malých kol. Každé vozidlo má dvě hlavní funkční komponenty. Zdvihač mechanismus se skládá ze zdvihačeho ramene, hydraulického systému a manipulační hlavy. Zdvihač rameno je ovládáno pístem přímočarého dvojčinného hydromotoru. Manipulační hlava je umístěna na horním konci ramene a je schopná omezeného příčného a podélného pohybu, stejně jako naklápěcího a otočného pohybu.

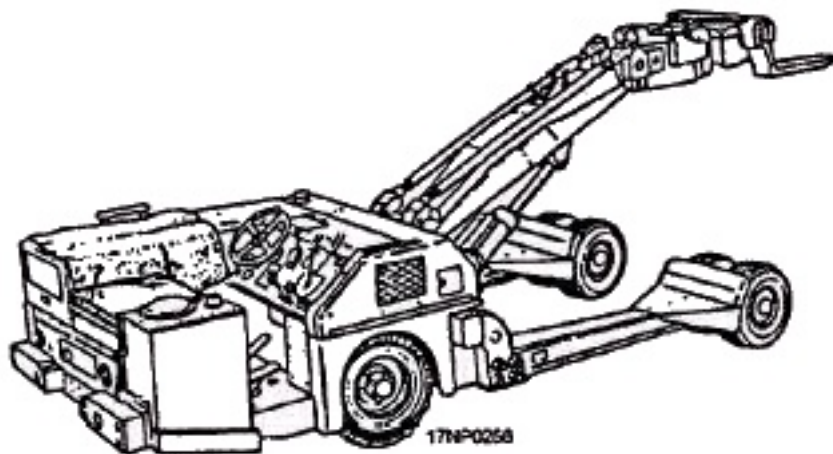
Pro pohon hydraulického čerpadla je využit krouticí moment od převodovky. Dále převodovka pohání hřídele s křížovými klouby, diferenciál nápravy. K odlehčení ovládání řízených hnacích kol je použit posilovač řízení.



	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 17
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Dostatečný výkon pro provoz hydraulického systému a pohony dodává diesellový čtyřválcový motor, vzduchem chlazený. Vysokozdvížený vozík je vybaven hydraulickými brzdami na čtyřech kolech. Dále elektricko - hydraulicky ovládané parkovací brzdy. Je také vybaven vázacími popruhy, které zabezpečují náklad během jeho manipulace.

Nakladač A / S 32K-1A/1B/1C SATS zvedne břemeno do hmotnosti 2042 kg. To je maximální zátěž externě nakládané munice, zbraní a různého materiálu do letadla. Ke každému nakladači je dodávána souprava adaptérů a různé kolébky. [ 13 ]



*Obr. 1 Nakladač A/S 32K-1A/1B/1C SATS [13]*

### **2.1.2 Vysokozdvížený nakladač AERO 47A, 47A AERO-1, A-7 MJ**

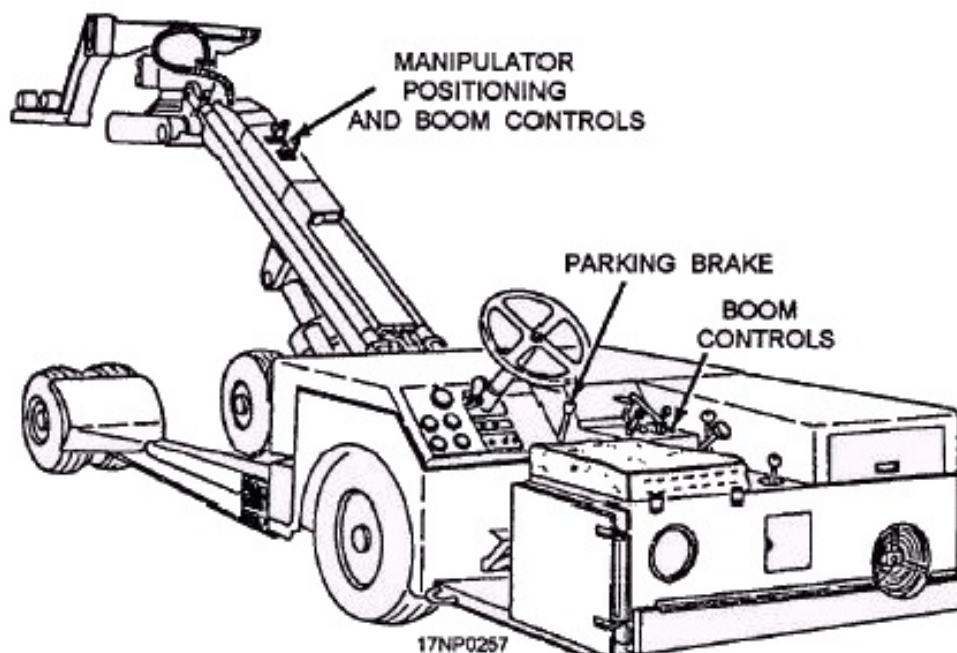
Aero 47A, 47A-1 je vysokozdvížený nakladač na obr. 2, který je konstruován s nízko poleženým hlavním rámem. Každé vozidlo se skládá ze dvou hlavních funkčních složek:

- zdvihací mechanismus;
- mechanismus pohonu.

Zdvihací mechanismus je složen z ramene, hydraulického systému a manipulační hlavice. Rameno je ovládáno přímočarým dvojčinným hydromotorem.

Manipulační hlavice se nachází na horním konci ramene a je schopná omezeného příčného a podélného pohybu, stejně jako klopení, a otáčení kolem osy hlavice. Tato zařízení mají nakládací vidle spojené s manipulační hlavou pomocí adaptéru. Vidle lze namontovat ve třech polohách:

- normální poloha vpřed;
- obrácená poloha vpřed;
- obrácená poloha dozadu.



Obr. 2 Nakladač Aero 47A [14]

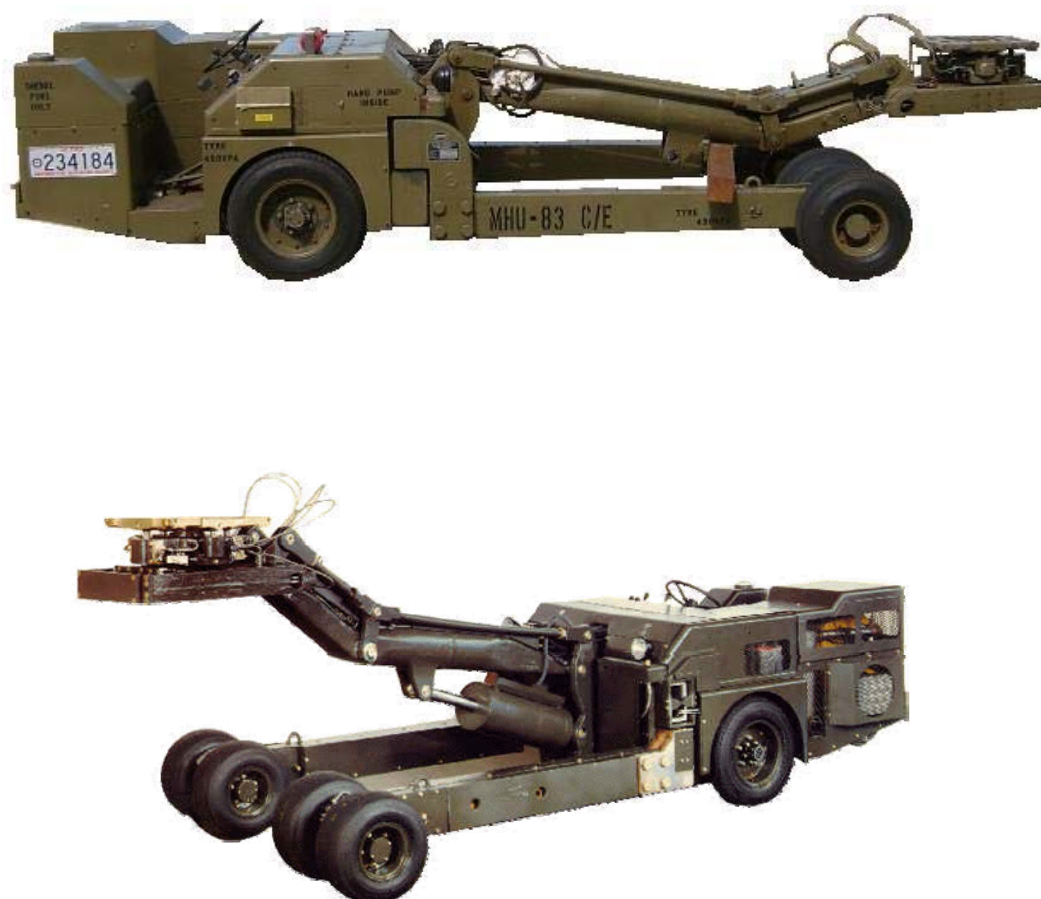
Otáčením adaptéru lze docílit maximální dosah vidlice rozšířený v každé z těchto pozic. Dostatečný výkon pro provoz vozidla a hydraulického systému dodává dieselový čtyřválcový, vzduchem chlazený motor. Dále je zde automobilová spojka, převodovka a diferenciální pohon kol. Tento vysokozdvihný nakladač je vybaven hydraulickými brzdami a mechanickou parkovací brzdou. Na zadních kolech je hydraulický posilovač řízení. Vozidlo je vybaveno světlomety pro noční nakládání. Ovládací prvky hydraulického systému jsou umístěny v dosahu sedadla operátora vozidla. Ovládací prvky jsou také umístěny na zdvihacím ramenu.

Maximální nosnost břemene je 2041 kg. Na nakládání zbraňových souprav, speciálních kontejnerů a palivových nádrží do letadla je toto vozidlo vybaveno paletou s řadou adaptérů a kolébkou. [14]

### 2.1.3 Vysokozdvížený nakladač MHU-83

Speciální vysokozdvížený vozík americké výroby MHU-83 na obr.3 má vlastní pohon se čtyřválcovým vzduchem chlazeným vznětovým motorem o výkonu 20 kW. Výrobce dodává vozíky také s elektromotorem, který je napájen z akumulátorové baterie. Pohonná jednotka přes převodovku pohání hydraulické čerpadlo, které dodává potřebnou tlakovou energii do systému ovládání ramene a otočné hlavice.

Nosnost tohoto zařízení je 3175 kg. Hmotnost vysokozdvížného vozidla s dieslovým motorem je 3098 kg. [19]



Obr. 3 Vysokozdvížený nakladač MHU-83 D/E [19]



*Obr. 4 Vysokozdvížený nakladač MHU-83 D/E při podvěšování munice na závěsník*

#### **2.1.4 Vysokozdvížený vozík MJ-1**

Speciální vysokozdvížený manipulátor MJ-1 na obr.5, personálem amerického letectva nazývaný „Jammer“, je určený pro dopravu, podvěšení, svěšení či naložení výzbroje a speciálních kontejnerů. MJ-1 sloužil standardně v USAF jako nakládací vozidlo určené na letecké bomby již od roku 1950. Tento vozík byl hojně využíván během vietnamské války a války v Perském zálivu.



*Obr. 5 Vysokozdvížený vozík 5 MJ-1 [19]*

Vozík má vlastní pohon se vznětovým motorem Deutz F2L1011F o výkonu 18 kW. Samotná manipulace s břemenem je uskutečňována pomocí ramene, které je ovládáno hydraulickým systémem. Nosnost zařízení je stanovena do maximální hmotnosti 1360 kg a manipulační výška do 1980 mm.

Operátor pomocí ovládacích hydraulických ventilů ovládá hlavici, kterou může precizně umístit břemeno na určené místo. Na ovládací hlavu lze namontovat speciální nástavce na konkrétní manipulovaný materiál. [18]



*Obr. 6 Vysokozdvížený vozík MJ-1 při činnosti [18]*

### 2.1.5 Vysokozdvížený vozík na munici Sovam

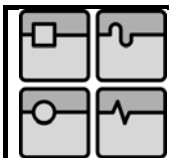
Vysokozdvížený vozík je používán ve francouzské armádě, kde má označení **Sovam**. Zařízení je poháněno dieselovým motorem. Vysokozdvížený vozík umožňuje měnit koncové zařízení určené pro manipulaci s materiálem. Lze namontovat tyto adaptéry :

- zvedací vidle;
- zařízení pro rakety;
- rovná paletová deska.

#### **Základní technická data:**

- délka vozidla – 4057 mm;
- šířka vozidla – 1416 mm;
- výška vozidla – 960 mm;
- max. rychlost – 16 km/h.





Obr. 7 Vysokozdvížený vozík SOVAM

Vysokozdvížený vozík může zdvihat břemeno do maximální hmotnosti 1600 kg. Při použití vidlí je povolená hmotnost břemene jen 800 kg.

Rameno je ovládáno hydraulickým válcem a maximální zdvih je 1960 mm od země. Náprava v zadní části je hnaná a pevná. V přední části jsou nezávisle zavěšena řiditelná kola s možností vyrovnávání terénních nerovností do 10° a úhel řízení je 45°.

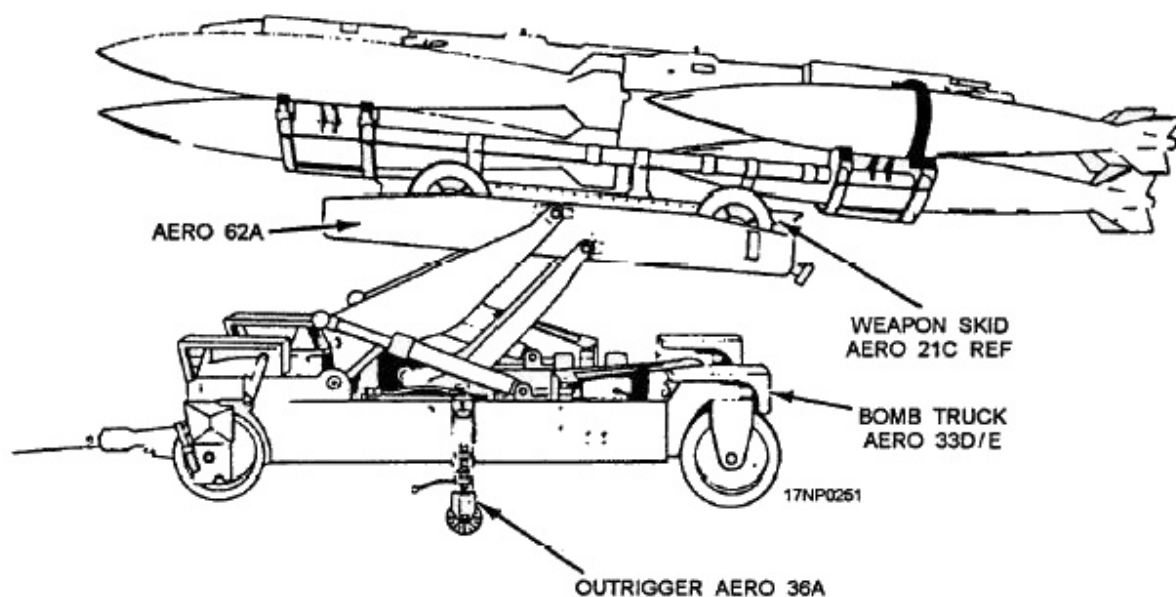
## 2.2 Manipulační a zvedací zařízení bez pohonné jednotky

### 2.2.1 Nakládací vozík AERO 33 D/E

Aero 33 D/E je výkonný nakládací manipulační vozík určený k přepravě a manipulaci s leteckou municí viz. obr.8. Rozdíl mezi modelem Aero 33D a Aero 33E je ten, že Aero 33D má elektrické a ruční ovládání, zatímco Aero 33E má pouze manuální ovládací prvky pro ovládání hydraulického systému plošiny. S výjimkou elektrických prvků na Aero 33D, informace obsažené v následujících odstavcích platí pro oba modely.

Aero 33 D / E má hlavní rám svařen z oceli. Hydraulicky ovládaná ramena, která jsou otočně připojena k plošině a mají proměnnou výšku zdvihu mezi 762 mm až 1600 mm. Manipulátor má nosnost 1815 kg. Vozík je vybaven mechanickými brzdami na předních kolech, které jsou


normálně v uzamčené poloze. Brzdy můžeme uvolnit sešlápnutím brzdy, nebo zatlačením vnitřní pístnice ovládání brzdy na oji při zapojení k tažnému vozidlu.



Obr. 8 Nakládací vozík Aero 33D/E [11]

Vozík je vybaven plošinovým zásobníkem Aero 62A viz. obr.8 připojený k zvedacím ramenům. Zásobník je obdélníkového tvaru a je svařen z ocelových prvků. Jeden konec plošiny je otevřený, takže pumový vozík MHU-191 lze lehce nasunout na zásobník. Na spodní části ve dvou řadách jsou uložena kotvící oka. Nájezdové plošiny mají 40 jamek vzdálených od sebe 25,4 mm. To umožňuje posouvat háky do vhodné pozice pro ukotvení břemen o různých délkách. Oka jsou zajištěna v plošině dvěma aretačníma kolíky a lze otáčet od svislé do vodorovné polohy. Zásobník lze naklonit v podélné svislé rovině přední částí o 20 stupňů nahoru nebo 10 stupňů dolů pootočením ovládací páky náklonu, která se nachází na obou stranách vozíku. Při nakládání to umožňuje nastavit sklon plošiny s postojem letadla.

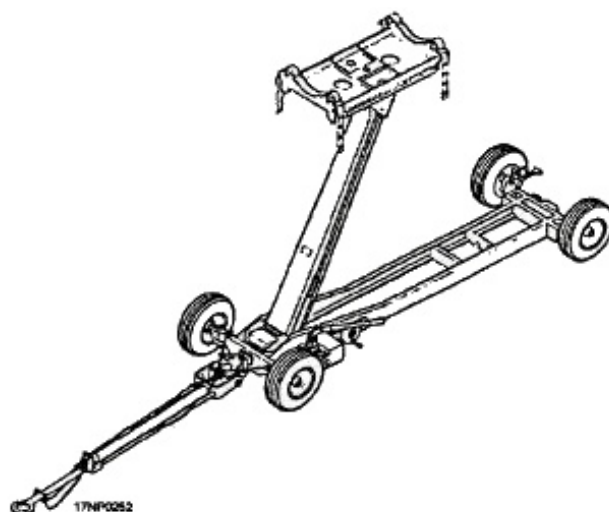
Vozík je čtyřkolový s pevnými pryžovými pneumatikami. Manipulačním a přípojným ojem lze otočit přední kola od podélné osy o 84°. Při přepravě vozíku lze otočit všechna čtyři kola o 180°. V podélném směru jsou kola zajištěna v poloze pojistnými kolíky, které po vytažení umožňují již zmíněné natočení kol.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 24
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Hydraulický systém je konstruovaný pro provoz na max. provozní tlak hydraulické kapaliny 21 MPa. Hydraulické ruční ovládací prvky jsou zdvojeny na obou stranách vozu. Hydraulický ovládací ventil je umístěn na vnitřní straně dolního rámu pod levou skříní určenou na elektrické akumulátory. Ventil ovládá část nebo celý hydraulický systém. S ventilem v otevřené poloze, lze ovládat levé a pravé rameno současně, pokud pracují obě, či jedno hydraulické čerpadlo. Uzavřením ventilu je umožněn manuální provoz buď levého, nebo pravého ramene. Toho je dosaženo ručním ovládáním levého nebo pravého hydraulického čerpadla. Otáčky čerpadla lze regulačním ventilem nastavit do třech poloh. Je to rychlý, střední a pomalý pohyb ramene. To umožňuje operátorovi nastavit tok hydraulické kapaliny v poměru k hmotnosti nákladu, a to rychle pro lehké zatížení a pomalé pro velká zatížení. [11]

### 2.2.2 Manipulační vozík MK 7 A

Mk 7 Mods 3, 4 a 5 je vlečný manipulační vozík obr.9. Manipulátor je řešen jako rámový s malou světlou výškou. Na ocelový rám jsou namontována čtyři nezávislá kola. Manipulační oje ovládá přední pár kol. Na přívěsu je namontován hydraulický zvedací systém, který se ovládá ručním hydraulickým čerpadlem.



Obr. 9 Manipulační vozík Mk 7 Mods 3, 4, 5 [ 12 ]

Zvedací sestava se skládá ze zdvihacího ramena, na kterém je namontovaná kolébka. Kolébka je konstruována jako sklopný stůl. Je vybavena uzpůsobením pro umístění břemene. Kolébku lze naklopit 30 stupňů vpřed nebo vzad ve svislé rovině pomocí ručního kolečka. Dále lze kolébku nastavit v horizontální rovině a otáčet s ní kolem svého středu. Lze také uskutečnit



boční pohyb. Tím je umožněno vrácení do přepravní polohy. Tyto pohyby jsou používány za účelem sjednocení a stabilizaci břemene během podvěšování. Kolébka je vybavena jisticími popruhy k zajištění nákladu při přepravě či k zajištění větší stability během podvěšování břemene na závěsník.

Přední náprava je říditelná pomocí manipulačního oje, který je zakončen tažným okem pro připojení k tažnému vozidlu. Přívěs je vybaven bezpečnostním řetězem, který zabezpečuje spojení s tažným vozidlem. Při více připojených vozících lze vytvořit vlak. Jednotlivé vozíky jsou zajištěny mezi sebou bezpečnostním řetězi, aby se zabránilo spadnutí oje na zem, pokud dojde k nečekanému rozpojení soupravy. Přívěs je také vybaven statickým řetězem na vybití statické elektřiny. Všechny MK 7 přívěsy jsou na zadní nápravě vybaveny mechanickou parkovací brzdou.

Mk 7 Mods 3, 4 a 5 manipulační vozík je používán k manipulaci, přepravě speciálních břemen, jako jsou zbraňové kontejnery, rakety a letecké bomby. Mk 7 má nosnost 1020 kg.

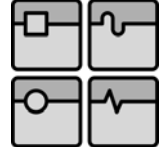
Pro nakládací a vykládací operace je využito lidské pracovní síly. Pro tažení přívěsu je stanovena bezpečná rychlost. Výrobce stanovil rychlost při tažení jednoho přívěsu na max. 25 km/h při zatížení břemenem a s více přípojnými vozidly nesmí rychlost soupravy překročit 8 km/h. [ 12 ]

### 2.2.3 Manipulační vozík MJ-3

MJ3 je vlečný manipulační vozík určený k manipulaci s leteckou výzbrojí. Hlavní nosný rám tohoto vozíku je svařen z ocelových profilů. Na rám jsou namontována pojezdová kola osazená vzduchovými pneumatikami. K přední části rámu je namontováno manipulační rameno, které je ovládáno přímočarým dvojčinným hydromotorem. Hydromotoru dodává tlakovou energii ruční hydraulické čerpadlo. Vozík MJ3 je schopen manipulovat s břemenem o maximální hmotnosti 1020 kg, a to do výšky 762 mm.



Obr. 10 Manipulační vozík MJ-3

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 26
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Zvláštností vozíku MJ3 je vlastní jeřábek, umístěný ve zdvihacím ramenu. Při vyklopení do pracovní polohy tento jeřábek umožňuje naložit do kolíčky břemeno bez pomoci dalšího nakládacího zařízení. Obsluhu tohoto zařízení při manipulaci s materiálem zvládne jeden pracovník.



*Obr. 11 Manipulační vozík MJ-3 s jeřábkem*

#### 2.2.4 Nůžkový vozík

Nůžkový vozík na obr.12 a obr.13, jenž je v současnosti na letecké základně k dispozici k manipulaci s podvěsnou výzbrojí. Tento manipulátor je již zcela v nevyhovujícím technickém stavu, ale který je musí využívat technický personál při manipulaci s podvěsnou výstrojí a výzbrojí.




*Obr. 12 Vozík v základní poloze*



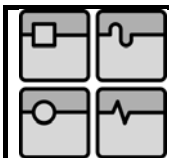
*Obr. 13 Vozík v poloze maximálního zdvihu*

Hlavní nosný rám je svařen z ocelových profilů. Přímočarý dvojčinný hydromotor je uložen vodorovně a uchycen na rámu v zadní části. Hydromotor je ovládaný tlakovou kapalinou z ručního hydraulického čerpadla. Přímočarý hydromotor působí na nůžkový mechanismus,

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 27
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

který zabezpečuje zvedání břemene. Do základní polohy, což je nejmenší zdvihová výška manipulátoru, se ustavuje otevřením ručního hydraulického zpětného ventilu. Tento ventil má tři polohy. Dvě krajní polohy slouží k zvedání a spouštění břemene. Při přestavení do polohy spuštěno se vlivem gravitační síly a hmotností horního lože, nebo hmotností břemene ustaví do základní dolní polohy. Prostřední třetí poloha ventilu slouží k uzavření přívodu i odvodu tlakové kapaliny z hydromotoru a tím zajištění požadované zdvihové výšky.

Přední náprava vozíku je otočná a je ovládána manipulačním ojem, které slouží i na tahání vozíku. Úhel natočení předních kol je nedostatečný, což ztěžuje manipulaci s vozíkem na malém prostoru. Kola jsou nezávisle uložena a nemají brzdu. Tímto vozíkem lze zvedat břemena o maximální hmotnosti 550 kg. Zdvihová výška horního rámu bez speciálních nástavců je 1240 mm. Celková délka vozíku bez manipulačního oje je 2340 mm a s ojem 2915 mm.



### 3 Varianty řešení manipulátoru

Základním požadavkem, vycházejícím ze zadání diplomové práce, je schopnost prostředku vertikálně měnit polohu určeného objektu. Byla zadána maximální manipulační výška, a to 1400 mm, a maximální hmotnost břemene 600 kg. Dále je podmínkou přesné podvěšení a svěšení břemene, což lze zabezpečit změnou úhlu manipulační plochy. Běžné hodnoty úhlu sklonu závěsných zařízení na letadle je do  $4^\circ$ .

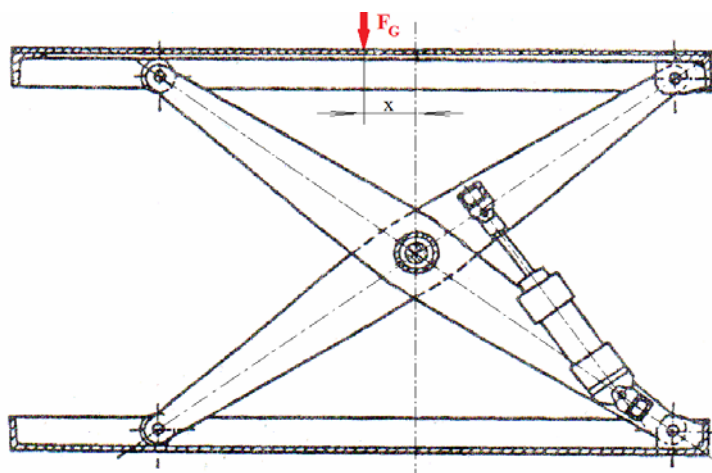
Zařízení by se mělo pohybovat po betonových, asfaltových a travnatých zpevněných letištních plochách. Manipulátor by měl mít co největší manévrovatelnost na malém prostoru. Toto zařízení by mělo také sloužit jako přepravní zařízení, a má být řešeno jako vlečný vozík s omezením rychlosti při tahání na 15 km/h bez zátěže a na 5 km/h při převozu břemene.

Na základě těchto vstupních požadavků je více možností základního kinematického uspořádání manipulačního vozíku:

- manipulátor s nůžkovým mechanismem;
- manipulátor s ramenem;
- manipulátor - paralelogram.

#### 3.1 Nůžkový manipulační vozík

S ohledem na jednoduchost a výrobní nenáročnost může být zvolen způsob řešení nůžkovým zvedacím mechanismem. Výhodou takového navrhovaného systému je malá výchozí výška při poměrně velkém zdvihu a možnost zabudování hydraulického systému v konstrukci stroje.



Obr. 14 Nůžkový mechanismus

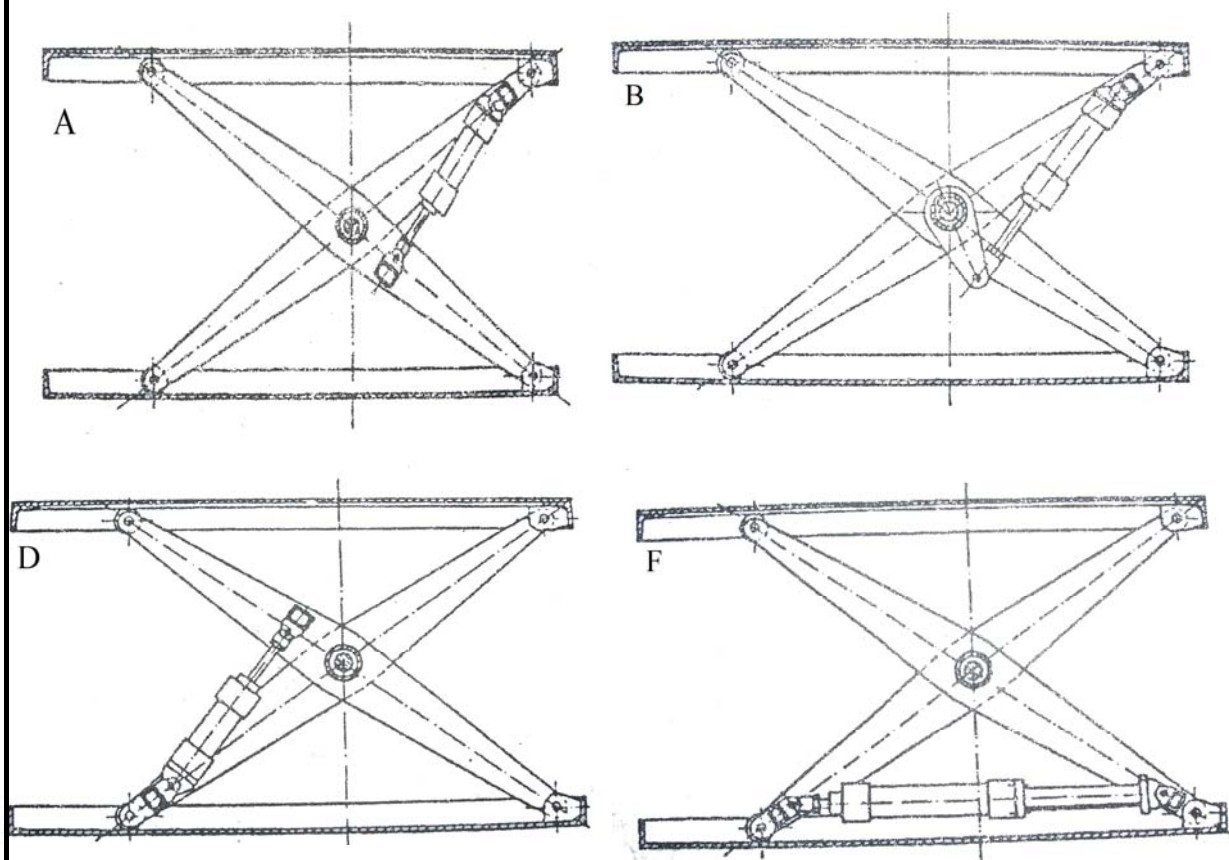
K pohonu nůžkového mechanismu může být určen přímočarý hydraulický motor upevněný na spodním rámu v blízkosti spodního otočného kloubu vnějších ramen. Oko pístnice je uchyceno na příčnici spojující vnitřní pár ramen viz. obr.14.

Nevýhodou nůžkového mechanismu, je že se při zvedání břemene mění výsledná poloha síly od původního uložení v jakékoliv poloze viz. obr.14, kde síla  $F_G$  je při zdvihu odchýlena od původní polohy o hodnotu  $x$ . Poloha břemene vůči místu, kde má být břemeno upevněno, se nemění.

### 3.1.1 Možnosti řešení pohonu

V praxi se používají různé varianty umístění motoru v konstrukci zdviže. Rozlišujeme dvě základní kinematické skupiny uložení motorů:

- šikmo uložený přímočarý motor;
- vodorovně uložený přímočarý motor nebo rotační motor se šroubovým převodem.



Obr. 15 Varianty uložení motoru [8]

Níže jsou uvedeny příklady variant nůžkových zdvižů a uložení přímočarých hydromotorů:

- Motor zavěšen shora na otočném kloubu, oko pístnice je uchyceno na příčnicku spojující vnitřní ramena, písmeno A obr.15; [ 8 ]
- Motor zavěšen shora na otočném kloubu, oko pístnice je uchyceno ve vidlici přivařeně na spojovací trubce v ose nůžkového mechanismu, písmeno B obr.15; [ 8 ]
- Motor uchycený otočně za zadní přírubu, oko pístnice je uchyceno na příčnicku spojujícím druhá dvě ramena, obr.14; [ 8 ]
- Motor je uchycen na příčnicku spojující ramena nůžkového mechanismu v blízkosti posuvného konce ramena, oko pístnice je uchyceno na příčnicku spojujícím druhá dvě ramena, písmeno D obr.15; [ 8 ]
- Vodorovně uložený přímočarý hydromotor, případně s rotačním motorem se šroubovým převodem, zadní příruba je uchycena přímo na rám zdviže mimo vlastní nůžkový mechanismus, písmeno F obr.15; [ 8 ]
- Dalším možným řešením je více násobná nůžková zdviž obr.16 .



*Obr. 16 Vícenásobná nůžková zdviž [20]*

### 3.2 Vysokozdvíhací vozík s manipulačním ramenem

Výhodou takového navrhovaného systému je velmi malá výchozí výška při poměrně velkém zdvihu. Zvolením vhodné konstrukce lze docílit téměř nulovou výchozí výšku obr.17. Oproti nůžkovému mechanismu má toto řešení výhodu v tom, že při podvешování zůstává volný prostor pod břemenem a tím lepší obsluhovatelnost technickým personálem při dokončovací fázi montáže a zkontrolování bezpečného podvешení břemene. Dále také skutečnost, že



manipulátor může být umístěn i mimo podélnou osu závěsu, tím je vyřešeno, že manipulačnímu vozíku nepřekáží přistávací zařízení letadla.



*Obr. 17 Manipulátor s ramenem [19]*

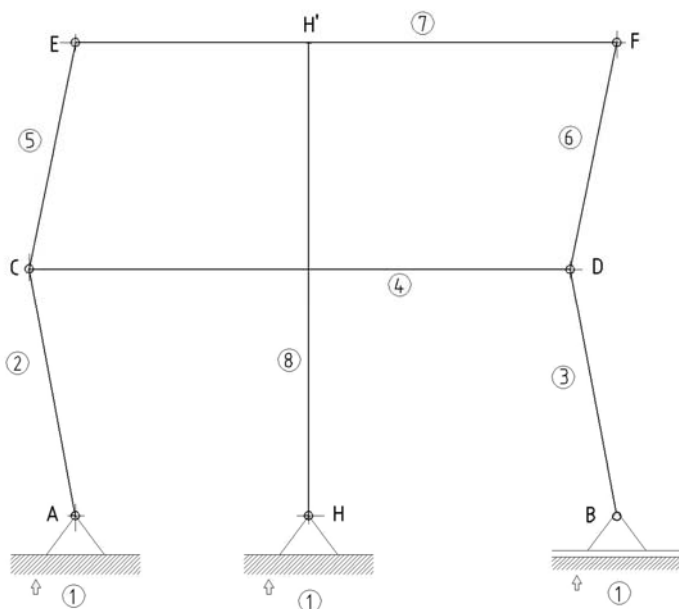
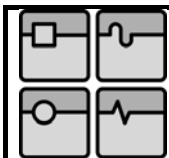
Nevýhodou tohoto řešení je velká hmotnost samotné konstrukce, kdy je potřeba vyvážit hmotnost zvedaného břemene, aby nedošlo k převrácení manipulátoru. Dále také změna polohy břemene vůči místu podvěšení.

### 3.3 Manipulátor s paralelogramem

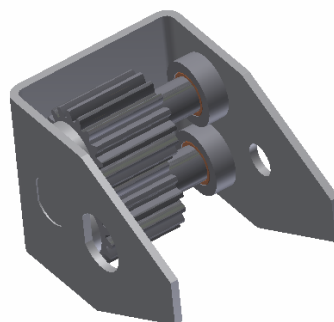
Výhodou takové navrhovaného systému je také malá výchozí výška při velkém zdvihu a možnost zabudování hydraulického agregátu v konstrukci stroje. Pohon mechanismu může být zabezpečen:

- pomocí teleskopického přímočarého hydromotoru, upevněného na spodním rámu. Ukončení pístnice je uchyceno na příčnici horního rámu obr.18.
- pomocí přímočarého hydromotoru nebo rotačního motoru se šroubovým převodem, spojující střední klouby pák mechanismu zdvihu, viz. příklad automobilového zvedáku obr.20.

Další výhodou je, že pokud působí zatěžující síla břemene v blízkém okolí nebo přesně na bod H' obr.18, konstrukce mechanismu paralelogramu není zatížena a zatěžující síla od břemene se přenáší pouze přes teleskopický přímočarý hydromotor na nosný rám. Také při změně manipulační výšky se poloha výsledné zatěžující síly nemění, což je výhoda oproti nůžkovému mechanismu.



Obr. 18 Schéma paralelogramu



Obr. 19 Ozubené soukolí

- |             |   |
|-------------|---|
| Prut č. 8   | přímočarý teleskopický hydromotor               |
| Prut č. 7   | horní rám                                       |
| Prut č. 4   | tyč, která zabezpečuje paralelnost obou soupáčů |
| Vazby C, D  | ozubená soukolí, zabezpečující polohu obr.19    |
| Vazby H, H' | uchycení hydromotoru                            |
| Vazby A, B  | uchycení k hlavnímu nosnému rámu                |
| Vazby E, F  | uchycení k hornímu rámu                         |



Obr. 20 Zvedací zařízení se šroubovým mechanismem[20]

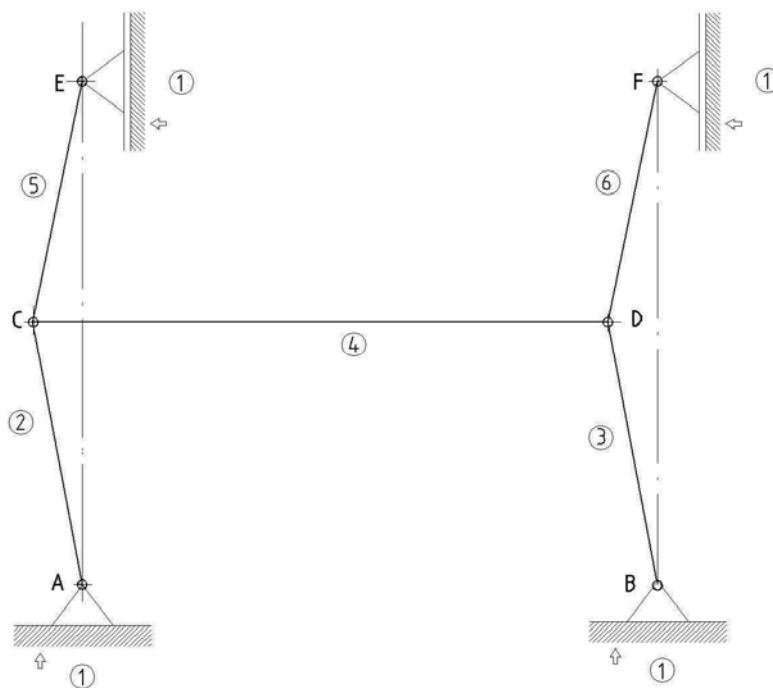


## 4 Návrh konstrukce manipulátoru

Volba konstrukce manipulátoru vyplývá jak ze zadání diplomové práce a dalších podmínek. Při zvážení složitosti konstrukce, pojezdových vzdáleností, rychlosti a frekvence manipulace s materiálem, jednoduchosti ovládání a zabezpečení pravidelné údržby jsem zvolil konstrukci řešenou pomocí paralelogramu.

### 4.1 Kinematické schéma manipulátoru

K výpočtu je použit zjednodušený kinematický řetězec.



Obr. 21 Kinematické schéma manipulátoru

počet všech těles včetně rámu  $n = 6$

vazby: A,B,C,D,E,F

rotační kinematické dvojice  $r = 6$

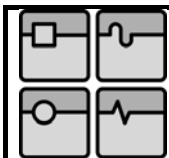
obecné kinematické dvojice  $o = 2$

Pohyblivost a statickou určitost soustavy určíme z vazbové rovnice.

$$i = 3(n - 1) - 2(r + p + v) - 1o \quad [22], \text{str. 14} \quad (4.1)$$

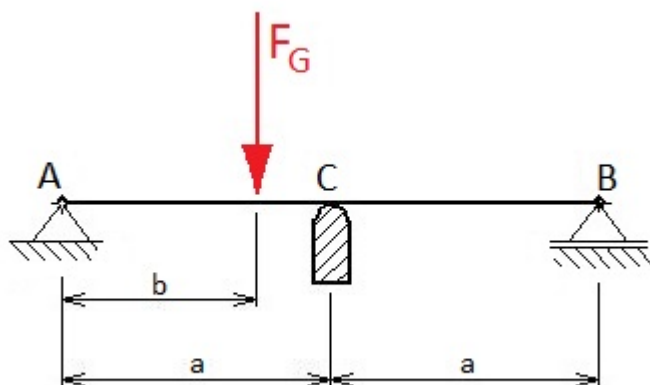
$$i = 3(6 - 1) - 2(6 + p + v) - 1 \cdot 2$$

$$i = 1$$



Soustava má tedy jeden stupeň volnosti, je pohyblivá a staticky určitá. Jedná se o mechanismus.

## 4.2 Horní rám manipulátoru



Obr. 22 Výpočtový model horního rámu

navržené vzdálenosti:  $a = 600\text{mm}$

známé hodnoty:  $m = 600\text{kg}$

$b = 0 \div 1200\text{mm}$

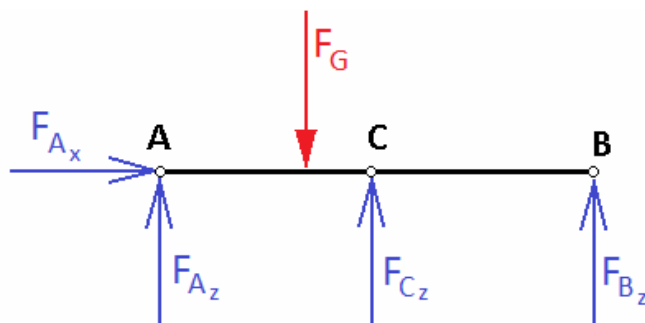
$g = 9,81\text{ms}^{-2}$

### • Tíhová síla břemene

$$F_G = mg[N] \quad (4.2)$$

$$F_G = 600 \cdot 9,81 \Rightarrow F_G = 5886\text{N}$$

### 4.2.1 Určení stupně statické neurčitosti



Obr. 23 Nahrazení vazeb silovými účinky

$$NP - \{F_{Ax}; F_{Az}; F_{Bz}; F_{Cz}\}$$

Vazba A ... rotační vazba -  $\xi = 2$

Vazba B ... obecná vazba -  $\xi = 1$

Vazba C ... obecná vazba -  $\xi = 1$

Počet stupňů volnosti v rovině -  $i_v = 3$

$$i = i_v - \sum \xi \quad [1] \text{ str.105} \quad (4.3)$$

$$i = 3 - (2 + 1 + 1) \Rightarrow i = 3 - 4 \Rightarrow i = -1$$

Těleso je 1 x staticky neurčité.

#### • Použitelné podmínky statické rovnováhy

$$\sum F_x = 0 \quad F_{Ax} = 0 \quad (4.4)$$

$$\sum F_z = 0 \quad F_G - F_{Az} - F_{Bz} - F_{Cz} = 0 \quad (4.5)$$

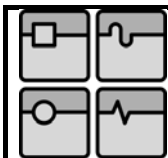
$$\sum M_{AO} = 0 \quad -F_G \cdot b + 2F_{Bz} \cdot a + F_{Cz} a = 0 \quad (4.6)$$

#### • Výsledné reakce ve vazbách

Pro výpočet výsledných reakcí ve vazbách bylo použito programu NEXIS 32. První vodorovný řádek v tab. 1 je vzdálenost působení výsledné síly od břemena na horním rámu viz. obr.22. V bodě A je hodnota 0 mm, v bodě C je hodnota 600 mm a v bodě B je hodnota 1200 mm.

Hodnoty v horním řádku tabulky tab. 1 udávají vzdálenost působení výsledné maximální síly od břemene od bodu A obr.22. Moment M v tab. 1 od 0 do 600 se vztahuje k bodu A, a od 600 do 1200 se vztahuje k bodu B dle obr.22.

	0 [mm]	50 [mm]	100 [mm]	150 [mm]	200 [mm]	250 [mm]	300 [mm]	350 [mm]	400 [mm]	450 [mm]	500 [mm]
Faz [ N ]	5886	5276	4672	4077	3498	2939	2404	1899	1429	1000	615
Fcz [ N ]	0	728	1447	2145	2813	3442	4020	4539	4988	5357	5636
Fbz [ N ]	0	-118	-232	-366	-425	-494	-538	-552	-532	-471	-365
M [ Nm ]	0	263	477	611	699	735	721	664	571	450	307



# DIPLOMOVÁ PRÁCE

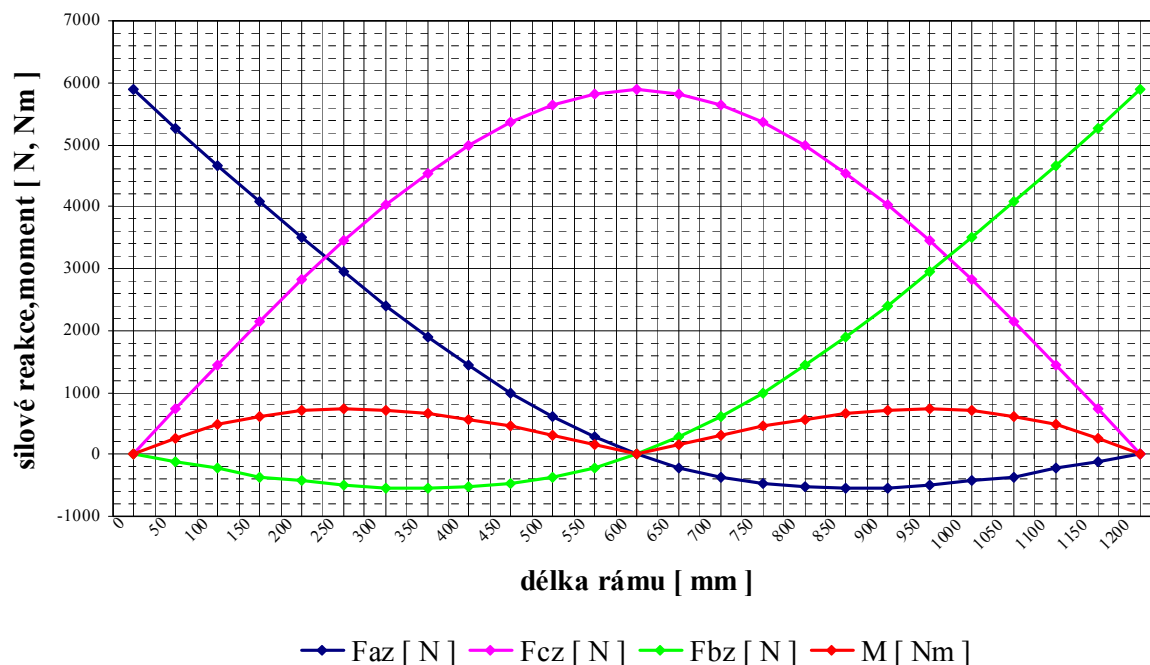
	550 [mm]	600 [mm]	650 [mm]	700 [mm]	750 [mm]	800 [mm]	850 [mm]	900 [mm]	950 [mm]	1000 [mm]	1050 [mm]
Faz [ N ]	280	0	-210	-365	-471	-532	-552	-538	-494	-425	-366
Fcz [ N ]	5816	5886	5816	5636	5357	4988	4539	4020	3442	2813	2145
Fbz [ N ]	-210	0	280	615	1000	1429	1899	2404	2939	3498	4077
M [ Nm ]	154	0	154	307	450	571	664	721	735	699	611

	1100 [mm]	1150 [mm]	1200 [mm]
Faz [ N ]	-232	-118	0
Fcz [ N ]	1447	728	0
Fbz [ N ]	4672	5276	5886
M [ Nm ]	477	263	0

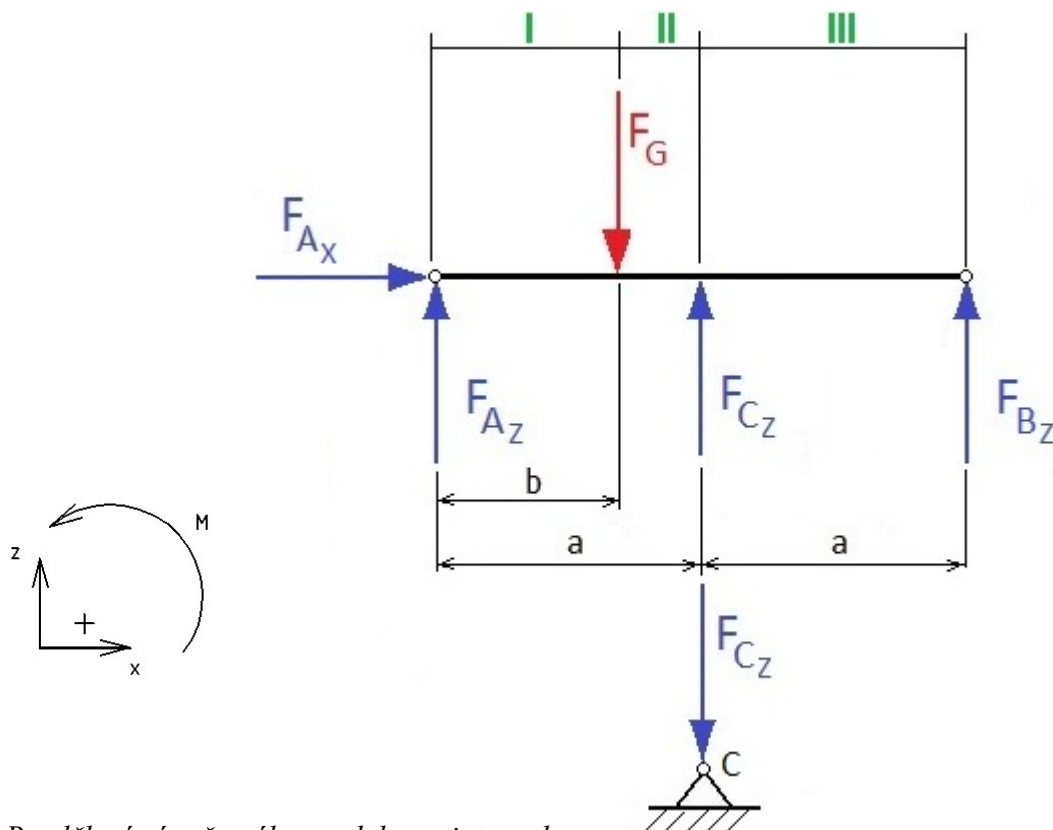
Tab. 1 Tabulka vypočítaných sil ve vazbách

## Výsledné reakce a moment při posuvu síly $F_G$



Graf 1. Výsledné reakce a moment při posuvu zatěžující síly

- Částečné uvolnění



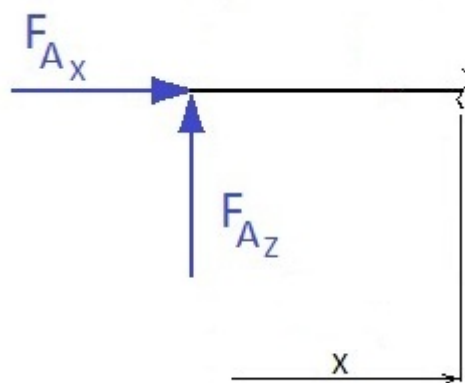
Obr. 24 Rozdělení výpočtového modelu na intervaly

Obecná vazba C byla nahrazena silou  $F_{Cz}$ .

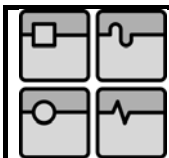
#### 4.2.2 Průběh výsledných vnitřních účinků

Rozdělení intervalů výpočtového modelu horního rámu obr.24.

- Interval I:  $x \in \langle 0; b \rangle$



Obr. 25 Řez I

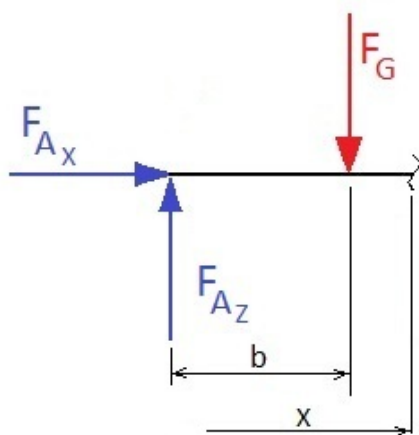


$$F_x: \quad N(x) + F_{A_x} = 0 \Rightarrow N(x) = -F_{A_x} \quad (4.7)$$

$$F_z: \quad T(x) - F_{A_z} = 0 \Rightarrow T(x) = F_{A_z} \quad (4.8)$$

$$M_o: \quad M_o - F_{A_z} \cdot x = 0 \Rightarrow M_o = F_{A_z} \cdot x \quad (4.9)$$

- **Interval II:**  $x \in \langle 0; a - b \rangle$



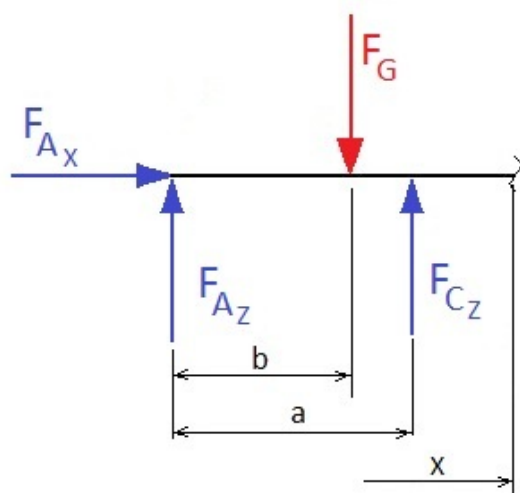
Obr. 26 Řez II

$$F_x: \quad N(x) + F_{A_x} = 0 \Rightarrow N(x) = -F_{A_x} \quad (4.10)$$

$$F_z: \quad T(x) - F_{A_z} + F_G = 0 \Rightarrow T(x) = F_{A_z} - F_G \quad (4.11)$$

$$M_o: \quad M_o - F_{A_z} \cdot x + F_G \cdot x = 0 \Rightarrow M_o = F_{A_z} \cdot x - F_G(x - b) \quad (4.12)$$

- **Interval III:**  $x \in \langle 0; 2a - a - b \rangle$



Obr. 27 Řez III

$$F_x: \quad N(x) + F_{A_x} = 0 \Rightarrow N(x) = -F_{A_x} \quad (4.13)$$

$$F_z: \quad T(x) - F_{A_z} + F_G = 0 \Rightarrow T(x) = F_{A_z} - F_G \quad (4.14)$$

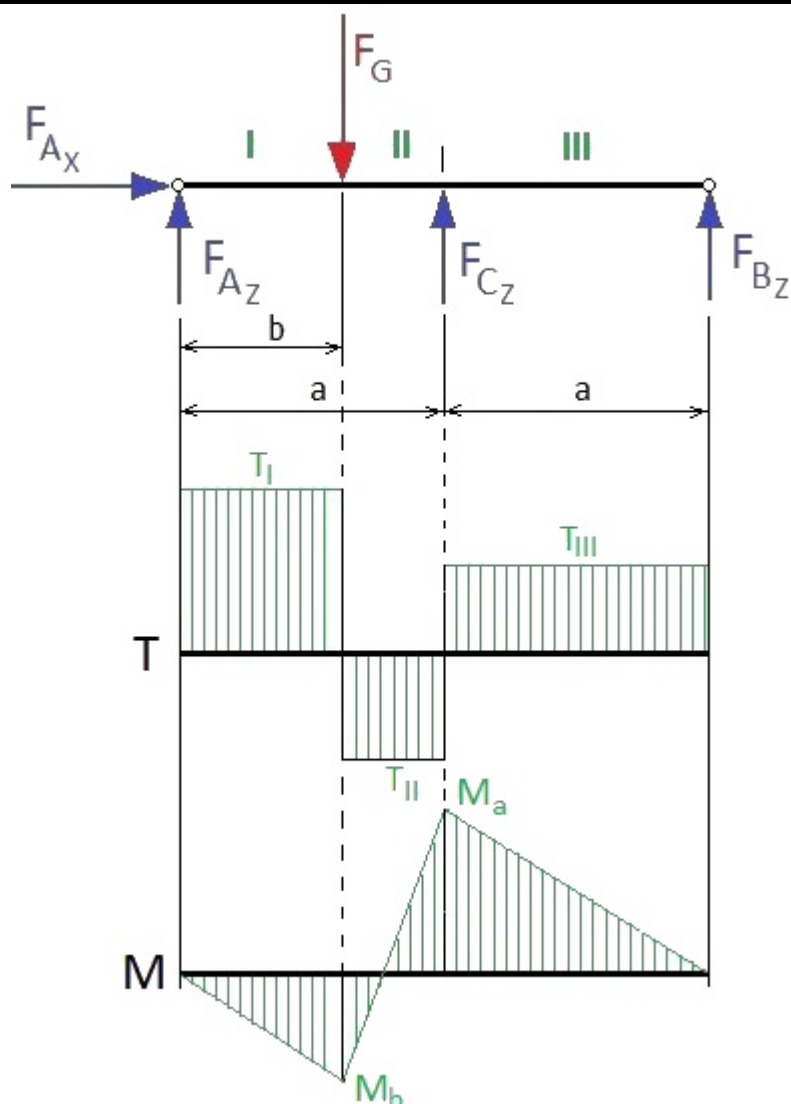
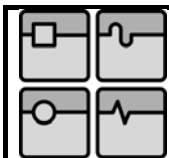
$$M_o: \quad M_o - F_{A_z} \cdot x + F_G \cdot x = 0 \Rightarrow M_o = F_{A_z} \cdot x - F_G(x - b) \quad (4.15)$$

• **výsledné VVÚ**

	b = 0 [ mm ]	b = 50 [ mm ]	b = 100 [ mm ]	b = 150 [ mm ]	b = 200 [ mm ]	b = 250 [ mm ]	b = 300 [ mm ]
T I [ N ]	5886	5277	4672	4078	3498	2939	2404
T II [ N ]	0	-609	-1214	-1808	-2388	-2947	-3481
T III [ N ]	0	119	232	337	425	495	538
M a [ Nm ]	0	71	139	202	256	297	323
M b [ Nm ]	0	-264	-467	-612	-700	-735	-722
	b = 350 [ mm ]	b = 400 [ mm ]	b = 450 [ mm ]	b = 500 [ mm ]	b = 550 [ mm ]	b = 600 [ mm ]	
T I [ N ]	1900	1429	1000	615	280	0	
T II [ N ]	-3986	-4456	-4885	-5271	5606	5886	
T III [ N ]	552	532	471	365	210	0	
M a [ Nm ]	332	319	283	219	126	0	
M b [ Nm ]	-665	-572	-450	-308	-154	0	

Tab. 2 Tabulka vypočítaných výsledných vnitřních účinků

Hodnota **b** je vzdálenost působení tíhové síly břemene obr.24. Síla  $F_{Ax} = 0$ , tak ve výsledcích VVÚ již není uvedena, jelikož v ose x nepůsobí žádné síly.



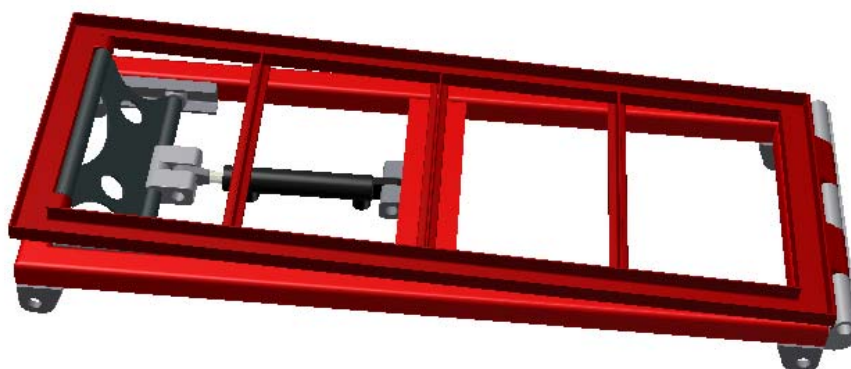
Obr. 28 Výsledné VVÚ na modelu horního rámu

#### 4.2.3 Volba materiálu horního rámu

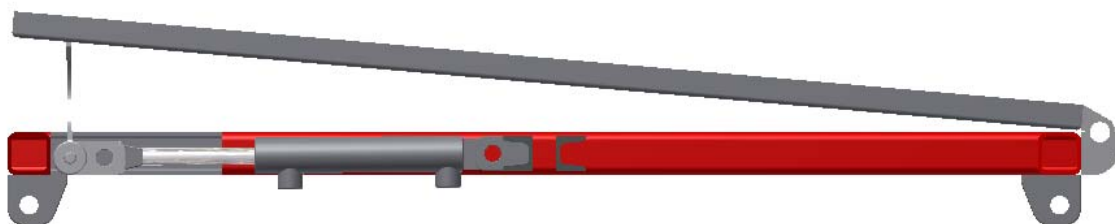
- Spodní část rámu: materiál ocel S 355J2H (1.0576), dle EN 10219-1, profil uzavřený svařovaný černý s čtvercovým průřezem 50x5, ČSN EN 10219-2 [ 9 ]
- Výklopná část rámu: materiál ocel S 235JR (1.0038), dle EN 10025-2, tyč průřezu UE válcovaná za tepla, UE 50, ČSN 42 5571 [ 9 ]
- Nosník uchycení hydraulické teleskopické pístnice: materiál ocel S 235JR (1.0038), dle EN 10025-2, tyč válcovaná za tepla průřezu U 40, DIN 1026-1 [ 9 ]
- Příčnický výklopného rámu: materiál ocel S 235JR (1.0038), dle EN 10025-2, tyč průřezu T válcovaná za tepla, T 30, EN 10055 [ 9 ]



- Trubky konzoly zvedání: materiál ocel 11 353.1, trubka bezešvá přesná kruhová, rozměr TR 30x5, ČSN 42 6711.21 [ 9 ]
- Plech konzoly zvedání: materiál ocel S 355J2C+N (1.0579), dle EN 10025-2, plech válcovaný za tepla, rozměr 10 x 300 x 400, EN 10051 [ 9 ]

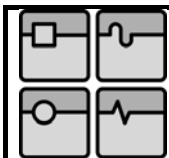


Obr. 29 Horní rám



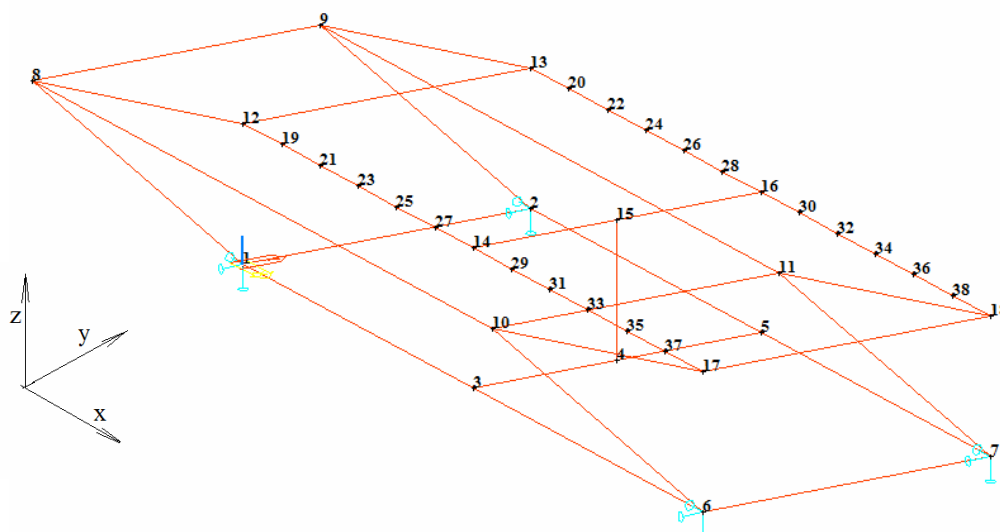
Obr. 30 Horní rám v částečném řezu

Konstrukcí mechanismu zdvihu manipulační části horního rámu bylo dosaženo úhlu sklonu tohoto rámu  $5^{\circ}30'$ . Tento náklon plně dostačuje v provozních podmínkách při podvěšování břemen na závěsníky letadel, podle jejich specifikace.



### 4.3 Zdvihací pákový mechanismus manipulátoru

Pro výpočet konstrukce byly zvoleny dvě polohy. V průběhu zdvihu mechanismu se síly ve vazbách mění v závislosti na hodnotě zdvihu. Pro výpočet nás zajímá poloha mechanismu na počátku zdvihu, kde jsou největší síly v ose x ve vazbách 1, 2, 6, 7 a největší moment v ozubeném mechanismu 8, 9, 10, 11 obr. 31. Druhá poloha je maximální zdvihová výška, kde působí největší síly na přímočarý teleskopický hydromotor, který je umístěn mezi body 4 a 15 obr.31.



Obr. 31 Výpočtový 3D model

#### 4.3.1 Výsledné hodnoty $R_x$ , $R_y$ , $R_z$

- výsledné reakce  $R_x$  [ N ]

$R_x$  – dolní poloha mechanismu

	0 mm	100 mm	200 mm	300 mm	400 mm	500 mm	600 mm
podpora č.1	-4016	-2834	-1581	-283	1034	2345	3625
podpora č.2	-4016	-2834	-1581	-283	1034	2345	3625
podpora č.3	4016	2834	1581	283	-1034	-2345	-3625
podpora č.4	4016	2834	1581	283	-1034	-2345	-3625
	700 mm	800 mm	900 mm	1000 mm	1100 mm	1200 mm	
podpora č.1	4885	6165	7477	8837	10 256	11750	
podpora č.2	4885	6165	7477	8837	10 256	11750	
podpora č.3	-4885	-6165	-7477	-8837	-10 256	-11750	
podpora č.4	-4885	-6165	-7477	-8837	-10 256	-11750	

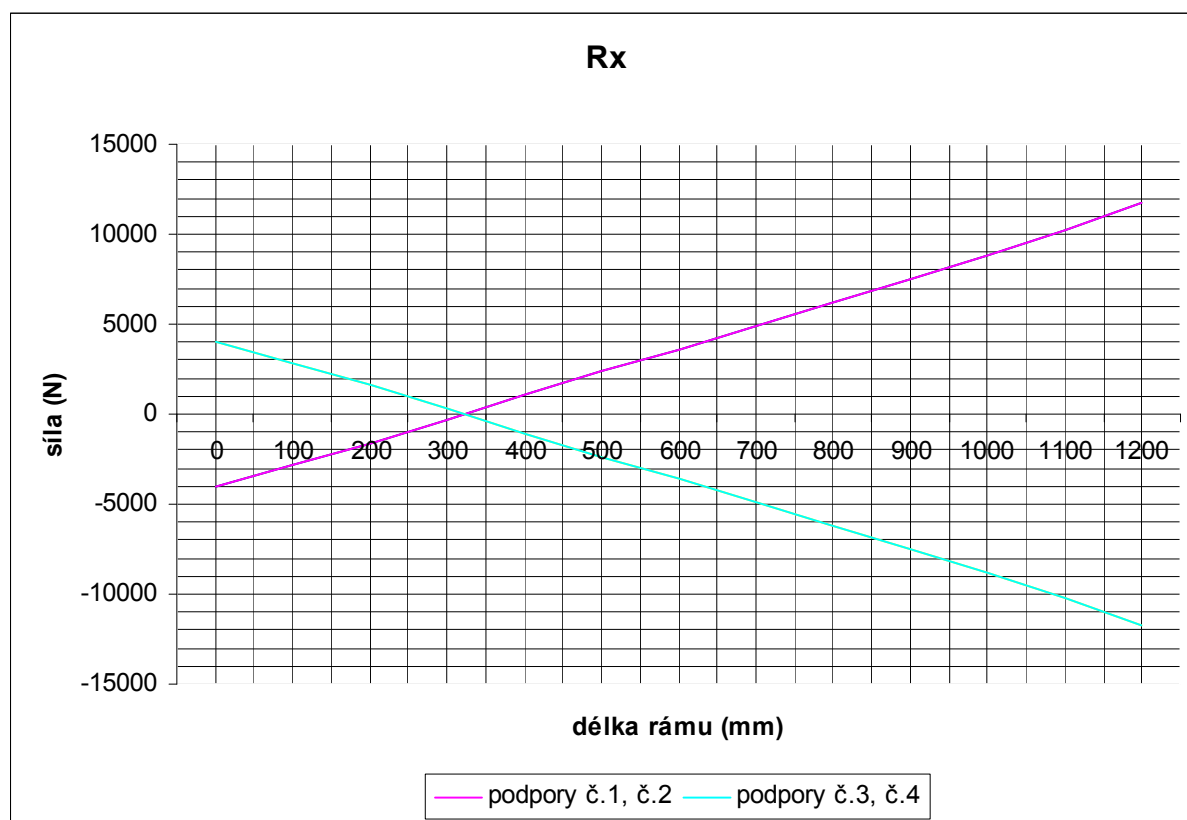
Tab. 3 Tabulka vypočítaných výsledných reakcí  $R_x$  při min. zdvihu

### $R_x$ – horní poloha mechanismu

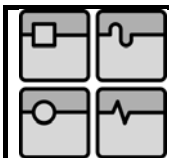
	0 mm	100 mm	200 mm	300 mm	400 mm	500 mm	600 mm
podpora č.1	-252	-261	-252	-229	-194	-152	-106
podpora č.2	-252	-261	-252	-229	-194	-152	-106
podpora č.3	252	261	252	229	194	152	106
podpora č.4	252	261	252	229	194	152	106
	700 mm	800 mm	900 mm	1000 mm	1100 mm	1200 mm	
podpora č.1	-59	-8	51	121	206	309	
podpora č.2	-59	-8	51	121	206	309	
podpora č.3	59	8	-51	-121	-206	-309	
podpora č.4	59	8	-51	-121	-206	-309	

Tab. 4 Tabulka vypočítaných výsledných reakcí  $R_x$  při max. zdvihu

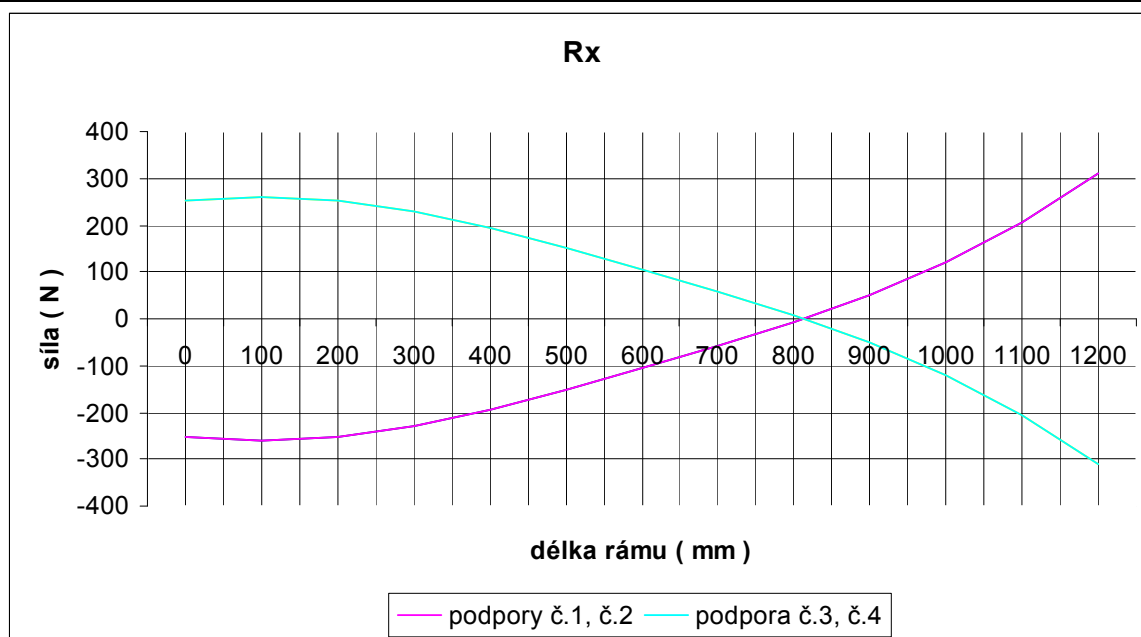
Z vypočítaných hodnot bylo zjištěno, že existuje symetrické zatížení uzlů. Proto dále v grafech je vždy uvedena jedna čára pro dva uzly.



Graf 2. Výsledné reakce v ose  $x$  při posuvu tíhové síly břemene při min.zdvihu



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

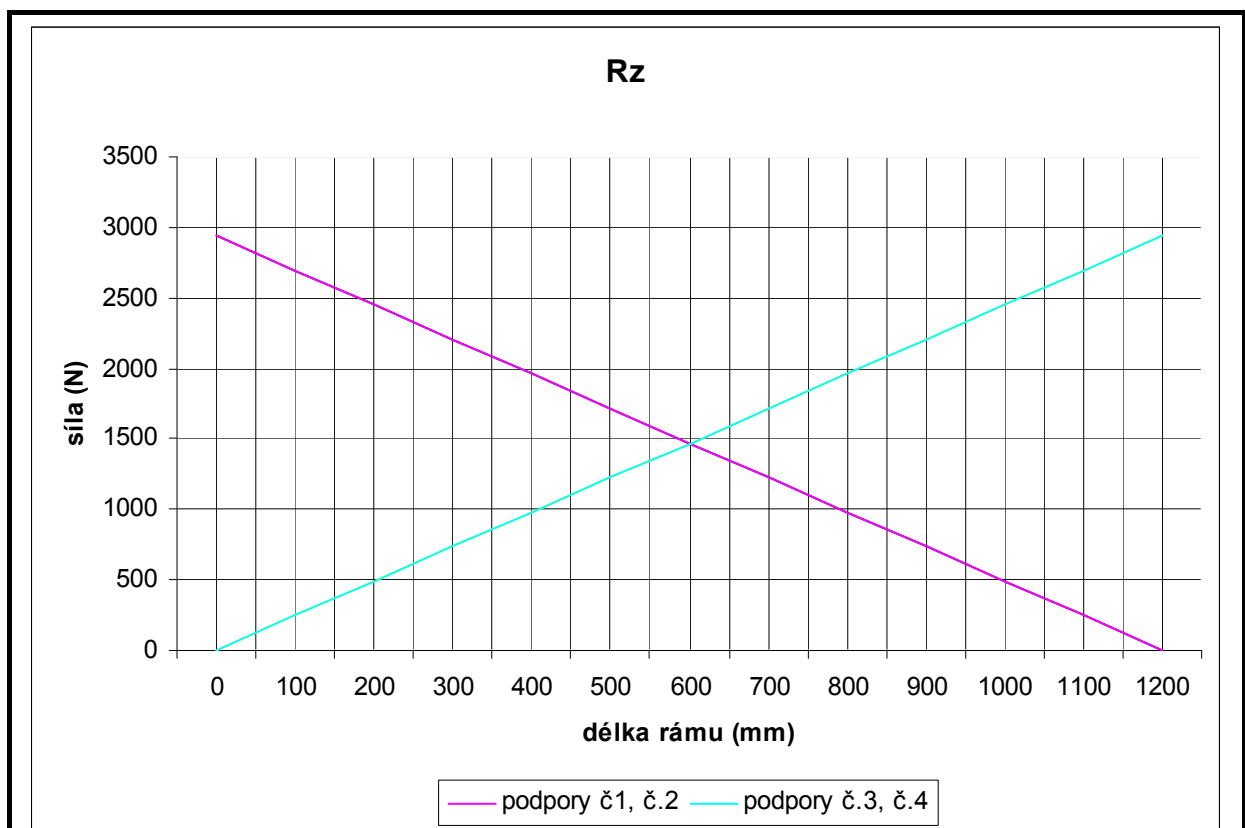
Graf 3. Výsledné reakce v ose  $x$  při posuvu tíhové síly břemene při max.zdvihu• výsledné reakce  $R_z$  [ N ] **$R_z$  dolní poloha mechanismu**

	0 mm	100 mm	200 mm	300 mm	400 mm	500 mm	600 mm
podpora č.1	2943	2697	2452	2207	1962	1716	1471
podpora č.2	2943	2697	2452	2207	1962	1716	1471
podpora č.3	0	245	490	735	981	1226	1471
podpora č.4	0	245	490	735	981	1226	1471
	700 mm	800 mm	900 mm	1000 mm	1100 mm	1200 mm	
podpora č.1	1226	981	735	490	245	0	
podpora č.2	1226	981	735	490	245	0	
podpora č.3	1716	1962	2207	2452	2697	2943	
podpora č.4	1716	1962	2207	2452	2697	2943	

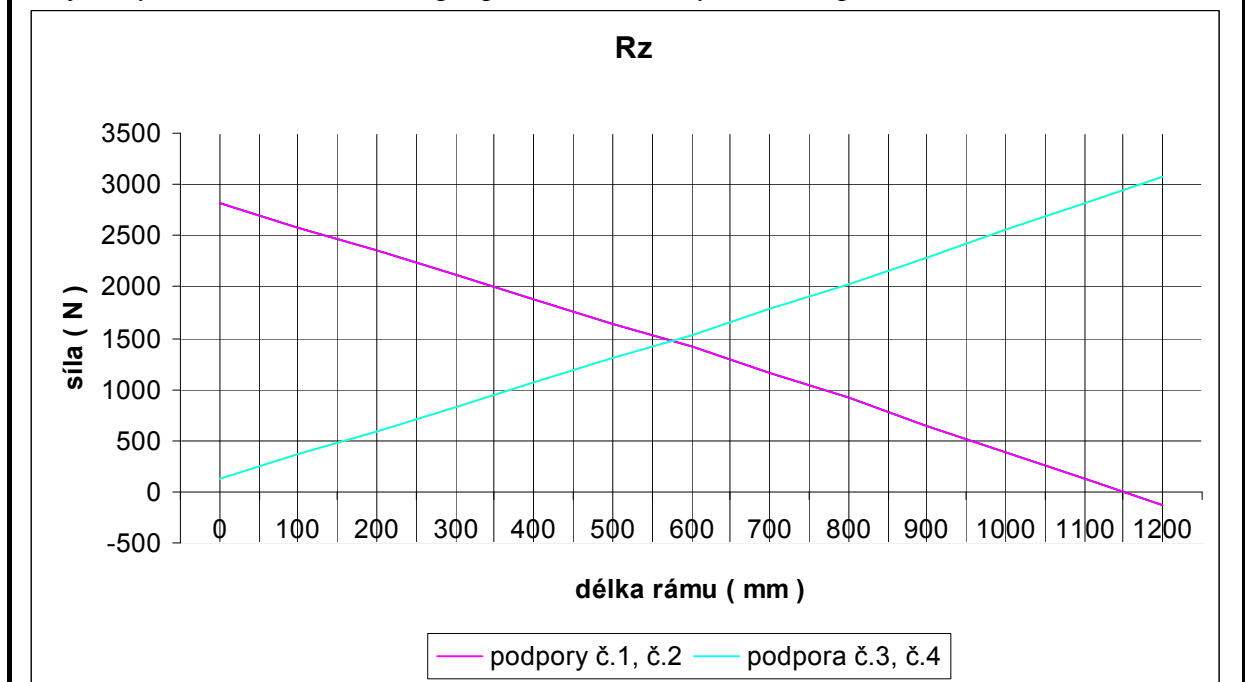
Tab. 5 Tabulka vypočítaných výsledných reakcí  $R_z$  při min. zdvihu **$R_z$  horní poloha mechanismu**

	0 mm	100 mm	200 mm	300 mm	400 mm	500 mm	600 mm
podpora č.1	2817	2582	2348	2114	1879	1644	1408
podpora č.2	2817	2582	2348	2114	1879	1644	1408
podpora č.3	125	360	595	829	1064	1299	1535
podpora č.4	125	360	595	829	1064	1299	1535
	700 mm	800 mm	900 mm	1000 mm	1100 mm	1200 mm	
podpora č.1	1165	912	652	390	130	-125	
podpora č.2	1165	912	652	390	130	-125	
podpora č.3	1778	2031	2291	2553	2813	3068	
podpora č.4	1778	2031	2291	2553	2813	3068	

Tab. 6 Tabulka vypočítaných výsledných reakcí  $R_z$  při max. zdvihu

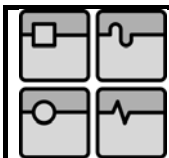


Graf 4. Výsledné reakce v ose z, při posuvu tíhové síly břemene při min.zdvihu

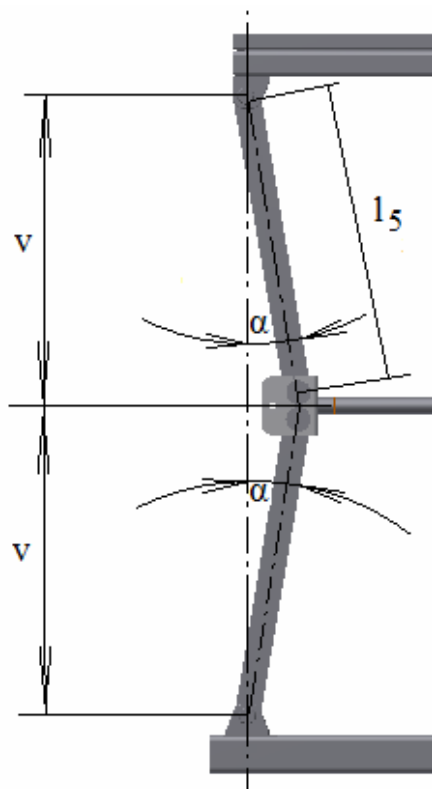


Graf 5. Výsledné reakce v ose z, při posuvu tíhové síly břemene při min.zdvihu

Podrobné výpočty jsou v příloze číslo 1 a 2. Výsledné reakce v ose y jsou téměř nulové, tedy pro další výpočty zanedbatelné.



#### 4.3.2 Výpočet ozubeného mechanismu



Obr. 32 Pákový mechanismus v horní poloze

Tak aby byla zabezpečena při zvedání stejná poloha pák mechanismu, tedy výška  $v$  a úhel  $\alpha$  byl mezi páky vložen ozubený mechanismus.

- **navržené parametry**

délka páky:  $l_5 = 0,56 \text{ m}$

pracovní úhel pák:  $\alpha = 10^\circ \text{ až } 80^\circ$

- **výpočet momentu působícího na ozub**

Maximální zatěžující síla působící na jednu páku je poloviční síla zátěže břemene  $F_G$  při podmínce, že  $b = 0 \text{ mm}$  a  $b = 1200 \text{ mm}$ . Dále byl pro výpočet použit model vetknutého nosníku, protože zubový mechanismus zabezpečuje polohu a styková vazba v rovině odebírá  $3^\circ$  volnosti.

$$F_1 = \frac{F_G}{2} [N] \quad (4.16)$$

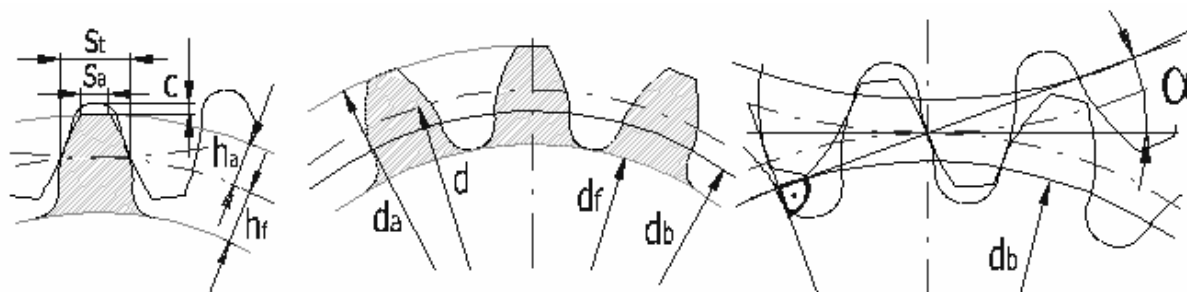
$$F_1 = \frac{5886}{2} \Rightarrow F_1 = 2943 N$$

$$M_o = F_1 l_3 \sin \alpha [Nm] \quad (4.17)$$

Vypočítané hodnoty ohybového momentu při úhlu  $\alpha$

úhel $\alpha$ [°]	10	20	30	40	50	60	70	80
M ohybový [Nm]	286	563	824	1059	1263	1427	1549	1623

Výpočet ozubeného kola ozubeného mechanismu pro manipulátor byl proveden v programu MIT Cacl, podrobné výsledky viz příloha 5.

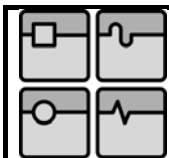


Obr. 33 Tvar zubů kola

Počet zubů kola	$z = 17$
modul	$m = 3mm$
průměr roztečné kružnice	$d = 51mm$
průměr základní kružnice	$d_b = 47,92mm$
průměr patní kružnice	$d_f = 43,5mm$
průměr hlavové kružnice	$d_a = 57mm$
výška hlavy zubu	$h_a = 3mm$
výška paty zubu	$h_f = 3,75mm$

### 4.3.3 Páka mechanismu

Základním stavebním dílem je páka s ozubeným kolem. Páka je svařena z pěti dílů. Ze dvou nábojů a třech dílů samotné páky, která tvoří profil I. Jeden náboj s ozubeným kolem je vyrobený z důvodu pevnosti z jednoho kusu a je součástí ozubeného mechanismu. Druhý náboj je určený k uchycení do konzol jednotlivých rámců a do tohoto náboje je vloženo kluzné ložisko.



Obr. 34 Páka s ozubeným kolem

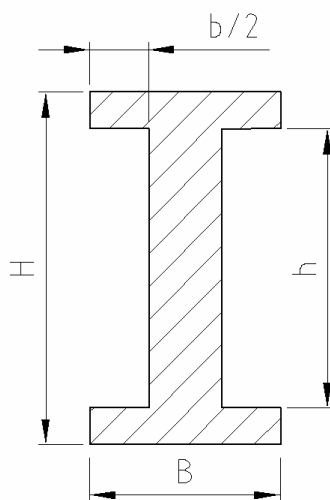
#### 4.3.4 Výpočet páky

$$B = 0,026m$$

$$b/2 = 0,008m$$

$$H = 0,048m$$

$$h = 0,038m$$



Obr. 35 Profil páky

- průřezová plocha profilu

$$S = BH - bh[m^2] \quad [3] \quad (4.18)$$

$$S = 0,026 \cdot 0,048 - 0,016 \cdot 0,038 \Rightarrow S = 6,4 \cdot 10^{-4} m^2$$

- kvadratický moment průřezu

$$I_x = \frac{BH^3 - bh^3}{12} [m^4] \quad [3] \quad (4.19)$$

$$I_x = \frac{0,026 \cdot 0,048^3 - 0,016 \cdot 0,038^3}{12} \Rightarrow I_x = 1,66 \cdot 10^{-7} m^4$$



• **průřezový modul v ohybu**

$$W_o = \frac{BH^3 - bh^3}{6H} [m^3] \quad [3] \quad (4.20)$$

$$W_o = \frac{0,026 \cdot 0,048^3 - 0,016 \cdot 0,038^3}{6 \cdot 0,048} \Rightarrow W_o = 6,94 \cdot 10^{-6} m^3$$

• **výpočet kritické síly a napětí**

$$I_{\min} = I_x; l_0 = l_5$$

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{l_0^2} [N] \quad [3] \quad (4.21)$$

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 EI_x}{l_5^2} \Rightarrow F_{kr} = \frac{\pi^2 2,1 \cdot 10^{11} 1,66 \cdot 10^{-7}}{0,56^2} \Rightarrow F_{kr} = 1,1 \cdot 10^6 N$$

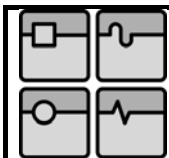
$$F = \frac{F_{kr}}{k_v} [N] \Rightarrow k_v = \frac{F_{kr}}{F} [-] \quad (4.22)$$

$$k_v = \frac{1,1 \cdot 10^6}{4310} \Rightarrow k_v = 255$$

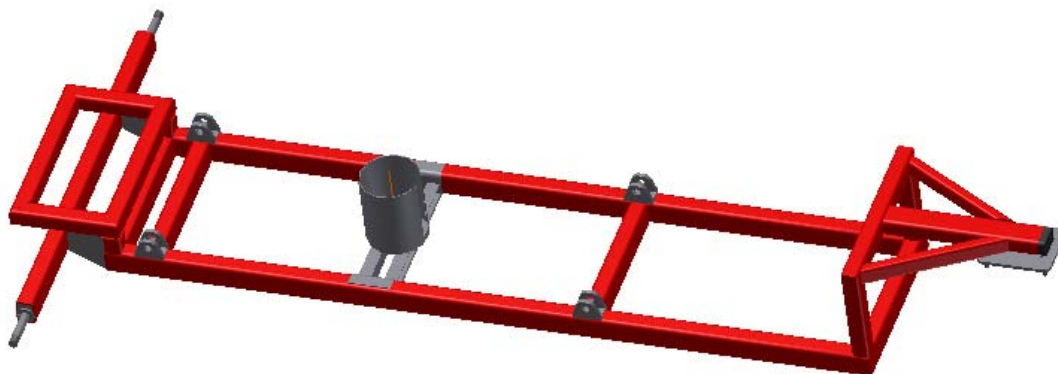
Pro výpočet byla dosazena maximální síla ze všech počítaných extrémních poloh zdvihového mechanismu viz. příloha 6,  $F = 4310 \text{ N}$ , dle vypočítaných hodnot je zcela zabezpečena bezpečnost pákového mechanismu.

#### 4.3.5 Volba materiálu

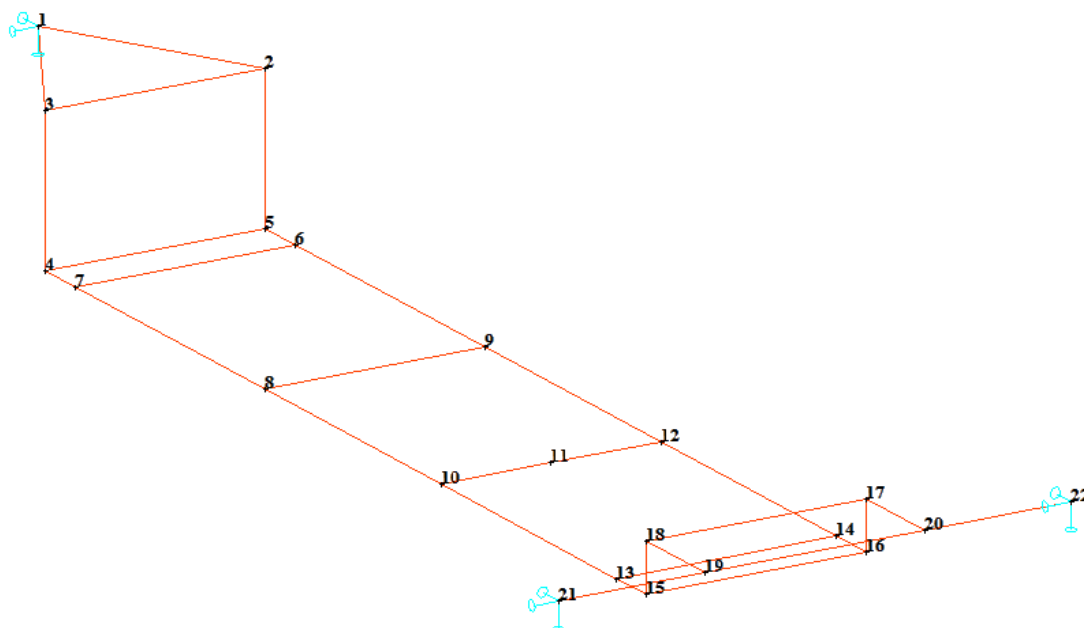
- Náboj s ozubením: materiál S 355 J2C+C (1.0579) dle EN 10277-2, tyč kruhová tažená za studena průměru 58, EN 10278 [9]
- Náboj pro ložisko: materiál S 355 J2C+C (1.0579) dle EN 10277-2, tyč kruhová tažená za studena průměru 50, EN 10278 [9]
- Střední část profilu I: materiál S 235JR (1.0038) dle EN 10025-2, EN 10058 tyč ocelová plochá válcovaná za tepla 40x10 [9]
- Obvod profilu I: materiál S 235JR (1.0038) dle EN 10025-2, EN 10058 tyč ocelová plochá válcovaná za tepla 30x5 [9]



#### 4.4 Nosný rám manipulátoru



Obr. 36 Nosný rám manipulátoru



Obr. 37 Výpočtový 3D model hlavního nosného rámu

Pruty umístěné mezi uzly 10 až 12 viz. obr.37, znázorňují nosník uchycení hydraulického přímočarého teleskopického válce. Samotné uchycení je umístěno v polovině nosníku uzlů č.11 na obr.37. Tento nosník je namáhán na ohyb.

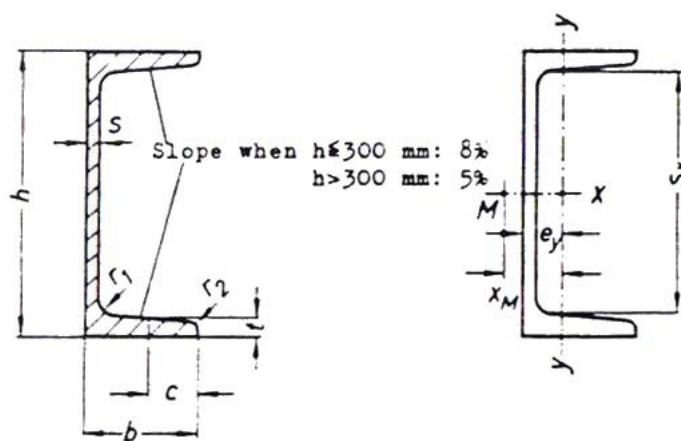
Výpočet MKP nosného rámu obr. 36, byl proveden v programu NEXIS 32, a podrobné výsledky jsou v příloze 3 a v příloze 4. Pro výpočet byly použity extrémní hodnoty reakcí při výpočtu zdvihacího mechanismu viz kap. 4.3. Dále byly výsledky ověřeny pomocí MKP v programu Inventor viz. dále kap. 4.4.3.

- **extrémní zatížení 1**, síla od břemene je mimo těžiště v krajní přední poloze;
- **extrémní zatížení 2**, síla od břemene je mimo těžiště v krajní zadní poloze;
- **extrémní zatížení 3**, síla od břemene je v těžišti horního rámu a působí pouze na teleskopický přímočarý hydromotor.

#### 4.4.1 Volba materiálu

- Spodní část rámu: materiál S 355 J2H (1.0576) dle EN 10219-1, profil uzavřený svařovaný černý s obdélníkovým průřezem 70x50x5, ČSN EN 10219-2 [ 9 ]
- Horní část rámu: materiál S 355 J2H (1.0576) dle EN 10219-1, profil uzavřený svařovaný černý s čtvercovým průřezem 50x5, ČSN EN 10219-2 [ 9 ]
- Uchycení hydraulického teleskopického válce: materiál S 235 JR (1.0038), dle EN 10025-2, tyč válcovaná za tepla průřezu U 40, DIN 1026-1 [ 9 ]

#### 4.4.2 Výpočet nosníku pro hydraulický válec



Obr. 38 U tyč DIN 1026-1 [ 9 ]

##### 4.4.2.1 Hodnoty pro výpočet z katalogového listu [ 9 ]

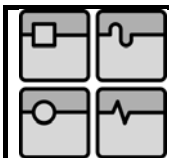
- **Geometrické**

$$h = 40 \text{ mm} = 0,04 \text{ m}$$

$$b = 35 \text{ mm} = 0,035 \text{ m}$$

$$S_1 = 621 \text{ mm}^2 = 6,21 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$s = 5 \text{ mm} = 0,005 \text{ m}$$



- **Těžiště**

$$e_y = 13,3mm = 0,0133m$$

$$e_x = 20mm = 0,02m$$

- **Moment setrvačnosti k ose ohybu**

$$I_{x_1} = 14,1cm^4 = 1,41 \cdot 10^{-7} m^4$$

$$I_{y_1} = 6,68cm^4 = 6,68 \cdot 10^{-8} m^4$$

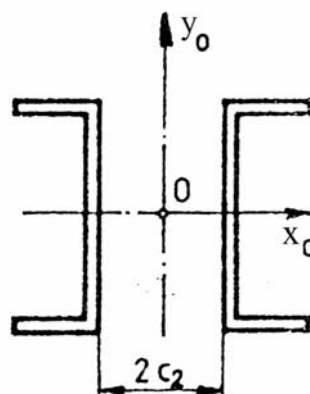
- **Průřezový modul v ohybu**

$$W_x = 7,05cm^3 = 7,05 \cdot 10^{-6} m^3$$

$$W_y = 3,1cm^3 = 3,1 \cdot 10^{-6} m^3$$

#### 4.4.2.2 Výpočet napětí $\sigma$

Pro uchycení hydraulického přímočarého teleskopického válce byla zvolena varianta vyznačující se dvojnásobnou symetrií pro zapuštěné uchycení válce viz. obr.39. Postavení profilů je otevřené.



Obr. 39 varianta s dvojnásobnou symetrií –postavení otevřené [ 2 ]

- **Průřezový modul v ohybu profilu nosníku**

$$W_o = 2W_x [m^3] \quad (4.23)$$

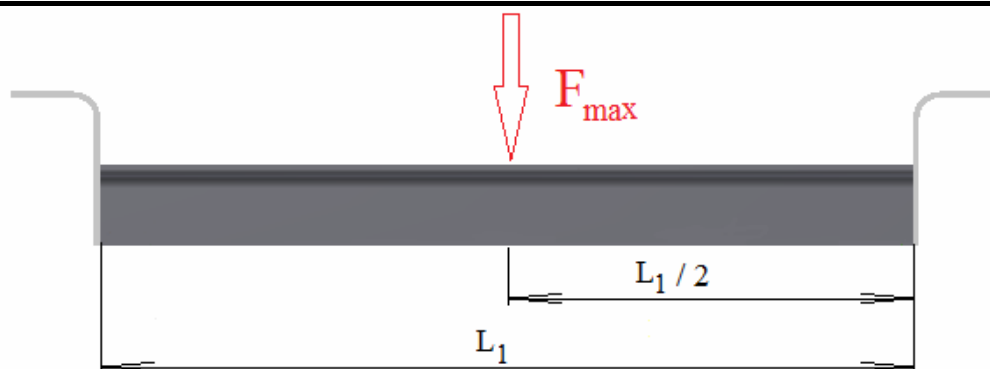
$$W_o = 2 \cdot 7,05 \cdot 10^{-6} = 14,1 \cdot 10^{-6} m^3$$

- **Ohybový moment na nosníku hydromotoru**

délka nosníku :  $L_1 = 0,4m$

hmotnost horního rámu:  $m_{hr} = 47kg$

hmotnost hydromotoru s olejem:  $m_{hm} = 16kg$



Obr. 40 Bokorys nosníku uchycení hydraulického válce

$$F_{hr} = m_{hr} \cdot g [N] ; F_{hm} = m_{hm} \cdot g [N] \quad (4.24)$$

$$F_{hr} = 47 \cdot 9,81 \Rightarrow F_{hr} = 461 N ; F_{hm} = 16 \cdot 9,81 \Rightarrow F_{hm} = 157 N$$

$$F_{\max} = F_G + F_{hr} + F_{hm} [N] \quad (4.25)$$

$$F_{\max} = 5886 + 461 + 157 \Rightarrow F_{\max} = 6504 N$$

$$M_{o_{\max}} = \frac{F_{\max} l}{4} [Nm] \quad [3], \text{str. 45} \quad (4.26)$$

$$M_{o_{\max}} = \frac{6504 \cdot 0,4}{4} \Rightarrow M_{o_{\max}} = 650,4 [Nm]$$

- Napětí v zatížení na ohyb**

$$\sigma_1 = \frac{M_{o_{\max}}}{W_o} [Mpa] \quad (4.27)$$

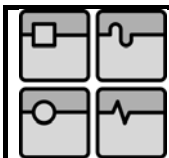
$$\sigma_1 = \frac{650,4}{14,1 \cdot 10^{-6}} \Rightarrow \sigma_1 = 46,13 MPa$$

Pro míjivé zatížení v ohybu při použití materiálu 11 375, S 235JR EN dle 10025-2 je dovolené napětí podle tabulek  $\sigma_{dov} = 70 \div 105 MPa$  [3], str. 55

$$\sigma_1 < \sigma_{dov} \quad (4.28)$$

$$46,13 MPa < 70 \div 105 MPa$$

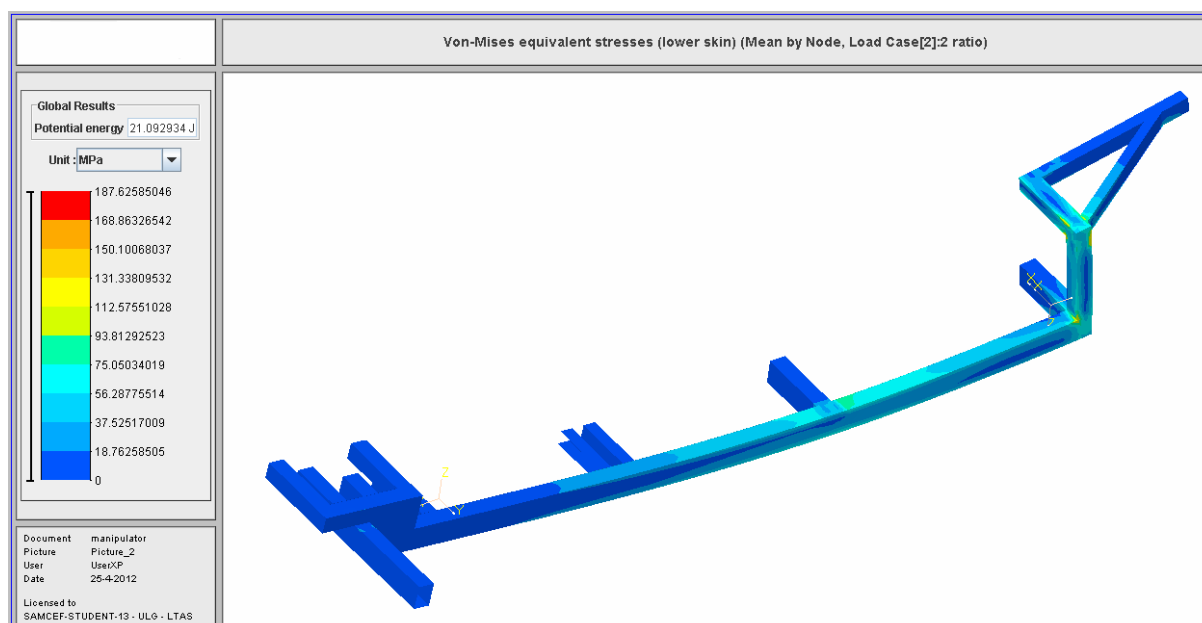
Navržený tvar nosníku pro namáhání v ohybu vyhovuje.



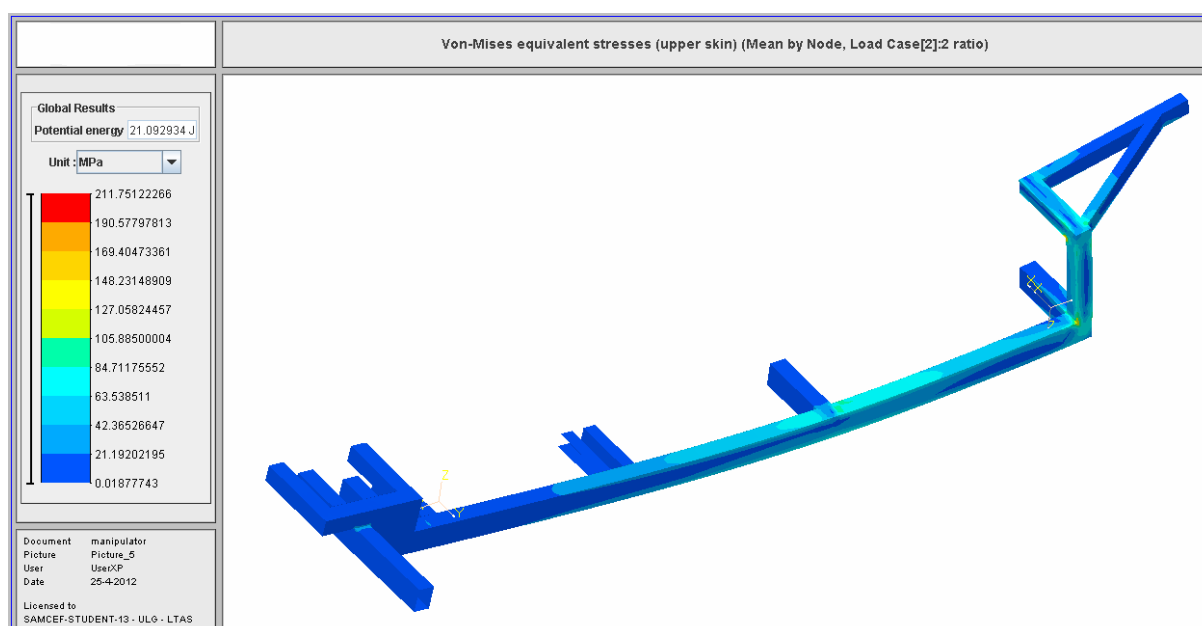
### 4.4.3 Kontrola profilu nosného rámu

#### 4.4.3.1 Extrémní zatížení 1

Výsledná tíhová síla od břemene působí na přední část horního rámu, a to v bodech 12, 13 obr. 31, kap. 4.3, která je přenášena jen předním pákovým mechanismem na nosný rám.



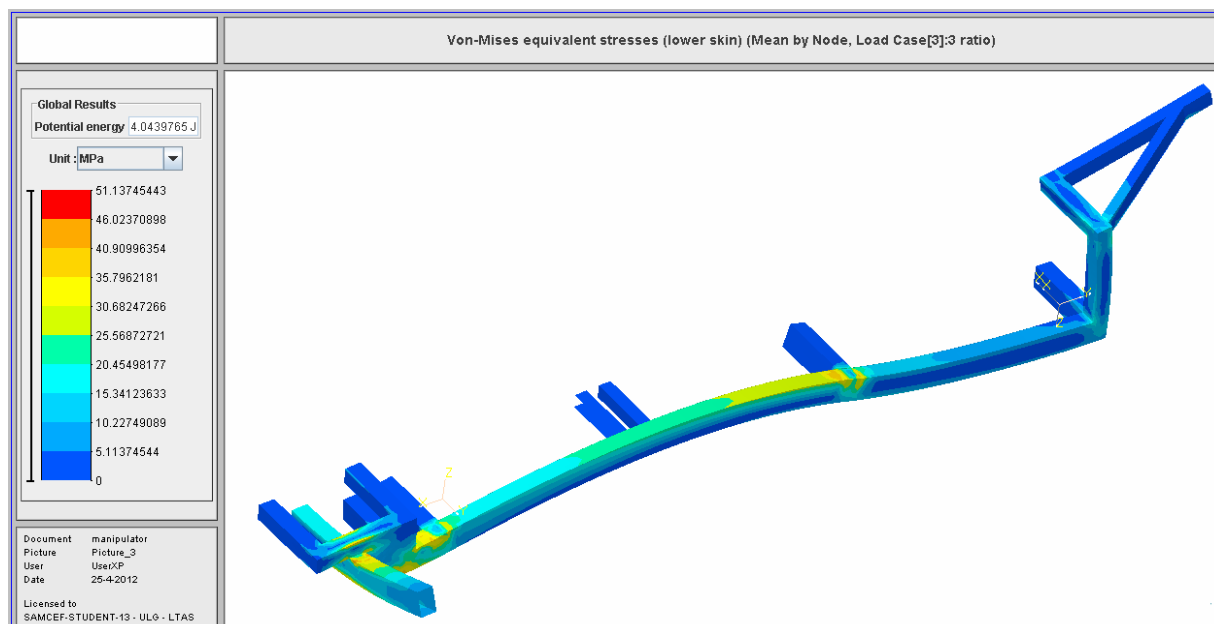
Obr. 41 Vnitřní plocha profilu



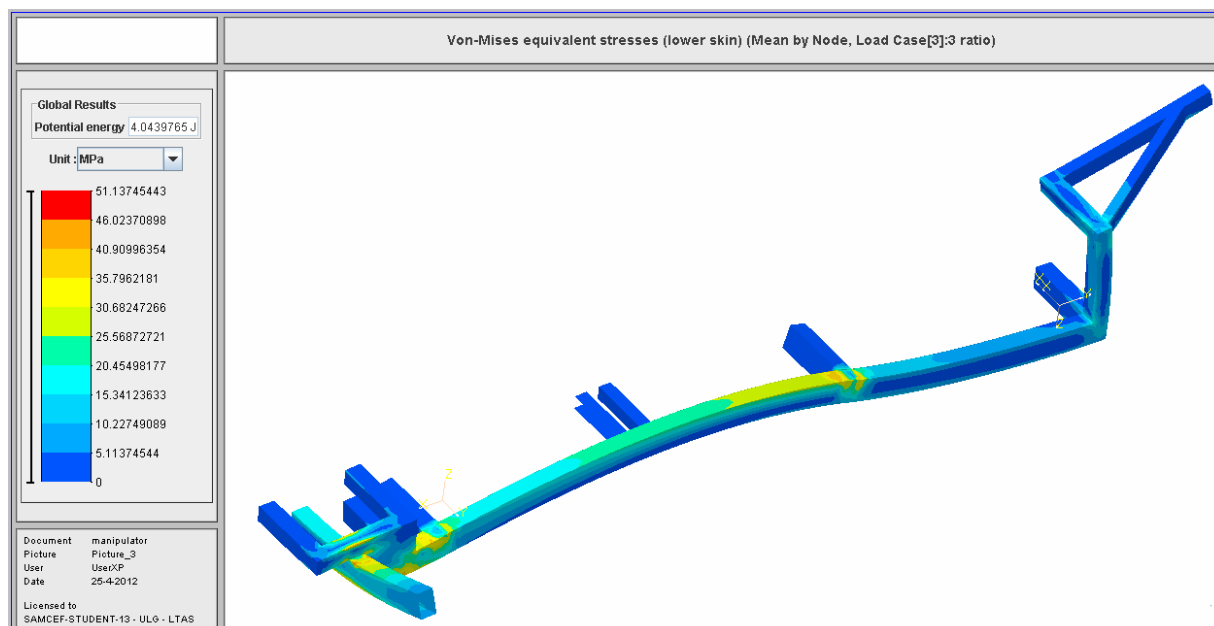
Obr. 42 Vnější plocha profilu

#### 4.4.3.2 Extrémní zatížení 2

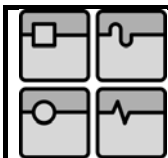
Výsledná tíhová síla od břemene působí na zadní část horního rámu, a to v bodech 17, 18 obr. 31, kap. 4.3, která je přenášena jen zadním pákovým mechanismem na nosný rám.



Obr. 43 Vnitřní plocha profilu

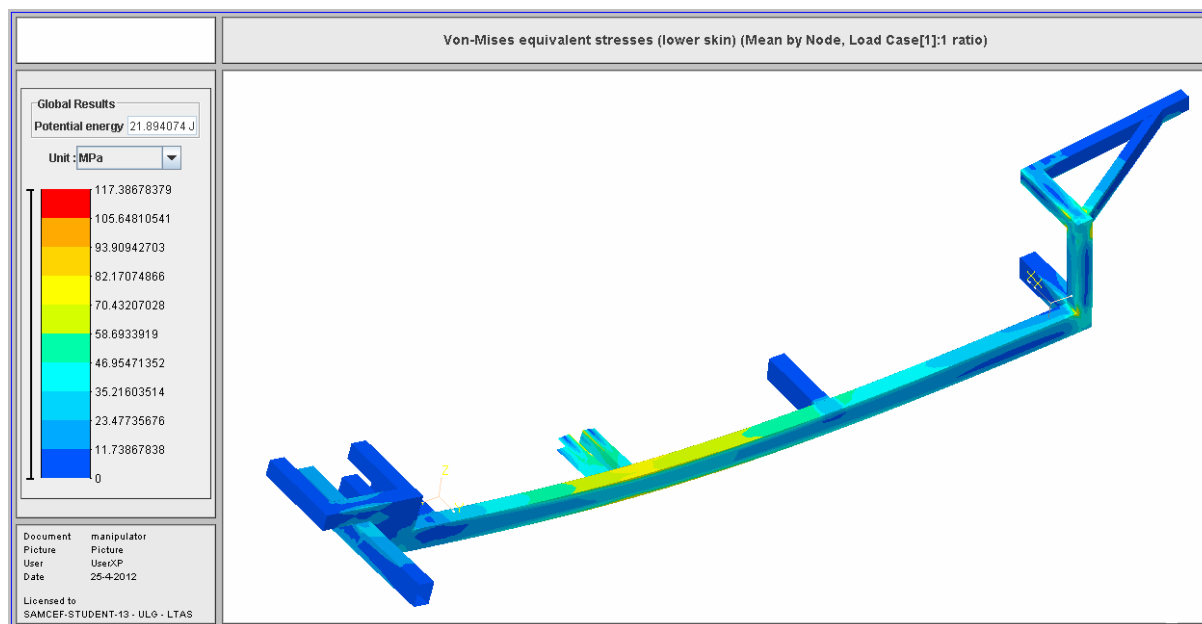


Obr. 44 Vnější plocha profilu

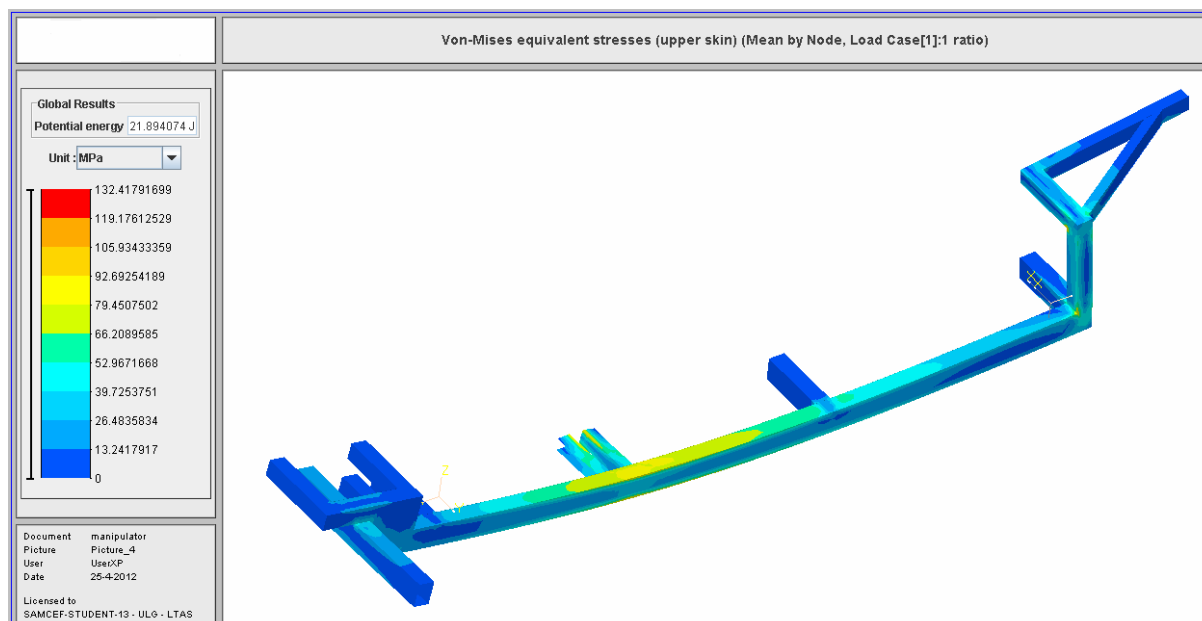


### 4.4.3.3 Extrémní zatížení 3

Zde působí maximální síla  $F_{\max}$  (4.25), která je v těžišti horního rámu a působí pouze na teleskopický přímočarý hydromotor, přes který přenáší silové působení na rám.



Obr. 45 Vnitřní plocha profilu



Obr. 46 Vnější plocha profilu



#### 4.4.3.4 Vyhonocení MKP

Dle výsledků provedených pomocí MKP, bylo zjištěno větší zatížení v přední části nosného rámu při extrémním zatížení 1, proto bude provedeno dodatečné zesílení konstrukce přední části nosného rámu.

### 4.5 Kola nosného rámu

Na základě vypočítaných hodnot silových reakcí ve vazbách na jednotlivé uzly kol, kde maximální zatížení na přední uzel je  $R_z = 3962 \text{ N}$  a na zadní uchycení kol je  $R_z = 2496 \text{ N}$  a výsledky reakcí v uzlech jsou v příloze 3. Při předpokládaném pohybu manipulátoru po různých površích byla zvolena pojezdová kola pro vysoké zatížení od firmy Blickle®.

#### 4.5.1 Kola manipulačního zařízení

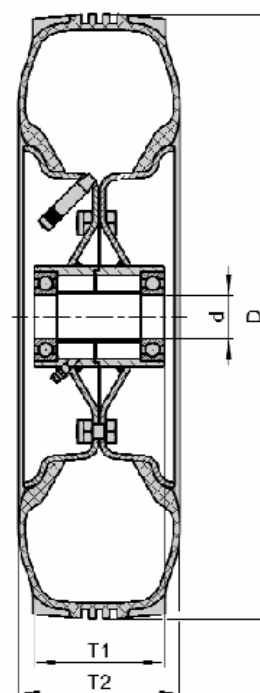
K přihlédnutí k zatížení jednotlivých uzlů byla vybrána kola pro vysoké zatížení s diskem z ocelového plechu s označením PS 315/25-75K. Kola jsou vybavena pneumatikou pro vysokou zátěž, s blokovým profilem, s 6 plátny a duší.

Toto vybrané kolo má nosnost při rychlosti 4 km / h 550 kg a při rychlosti 25 km / h má nosnost 400 kg. Podrobné údaje v katalogovém listu, příloha 7. [ 10 ]



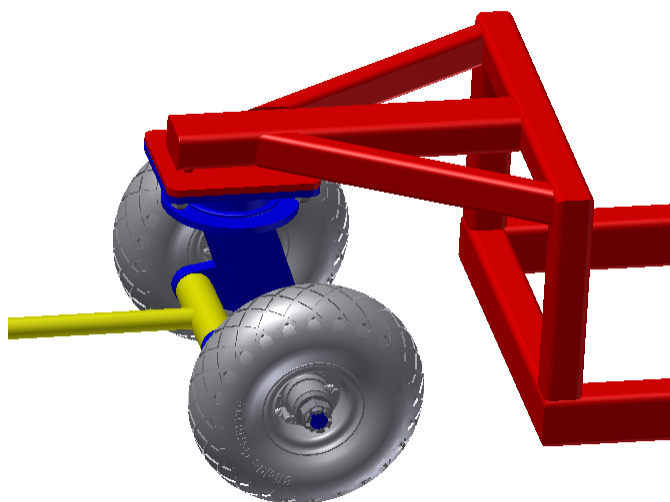
Obr. 47 Kolo PS 315/25-75K [ 10 ]

Šířka kola	$T2 = 105 \text{ mm}$
Průměr kola	$D = 305 \text{ mm}$
Průměr pro osu	$d = 25 \text{ mm}$
Délka náboje	$T1 = 75 \text{ mm}$



Obr. 48 Řez kola PS 315/25-75K [ 10 ]

#### 4.5.2 Otočný uzel

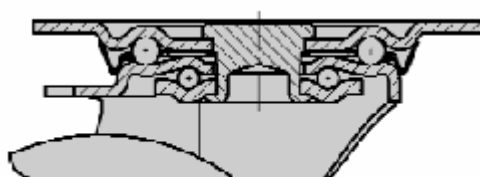


*Obr. 49 Detail přední části rámu s otočným uzlem*

Byla použita konzola série LS/BS, s označením LS-PS 315K která je velmi robustní ocelové svařované konstrukce. Konzola otočné kladky má v otočném věnci axiálně – radiální kuličkové ložisko DIN 711 a kuželíkové ložisko DIN 720 obr.51, chráněné proti prachu a stříkající vodě, s mazničkou, s velmi stabilním zavřeným středovým čepem, zašroubovaným a zajištěným. Dolní část konzoly byla upravena pro upevnění dvou kol ke zvýšení stability manipulátoru. [ 10 ]



*Obr. 50 3D model předního otočného uzlu*



*Obr. 51 Řez otočným uzlem*

### 4.5.3 Ohybový moment na ose kola

Přední osa je složena ze tří průměrů osy:

průměr osy kola  $d = 0,025m$

průměr uchycení osy kola  $d_u = 0,05m$

průměr na konzole kola  $d_k = 0,08m$

délka osy předního kola  $l_1 = 0,568m$

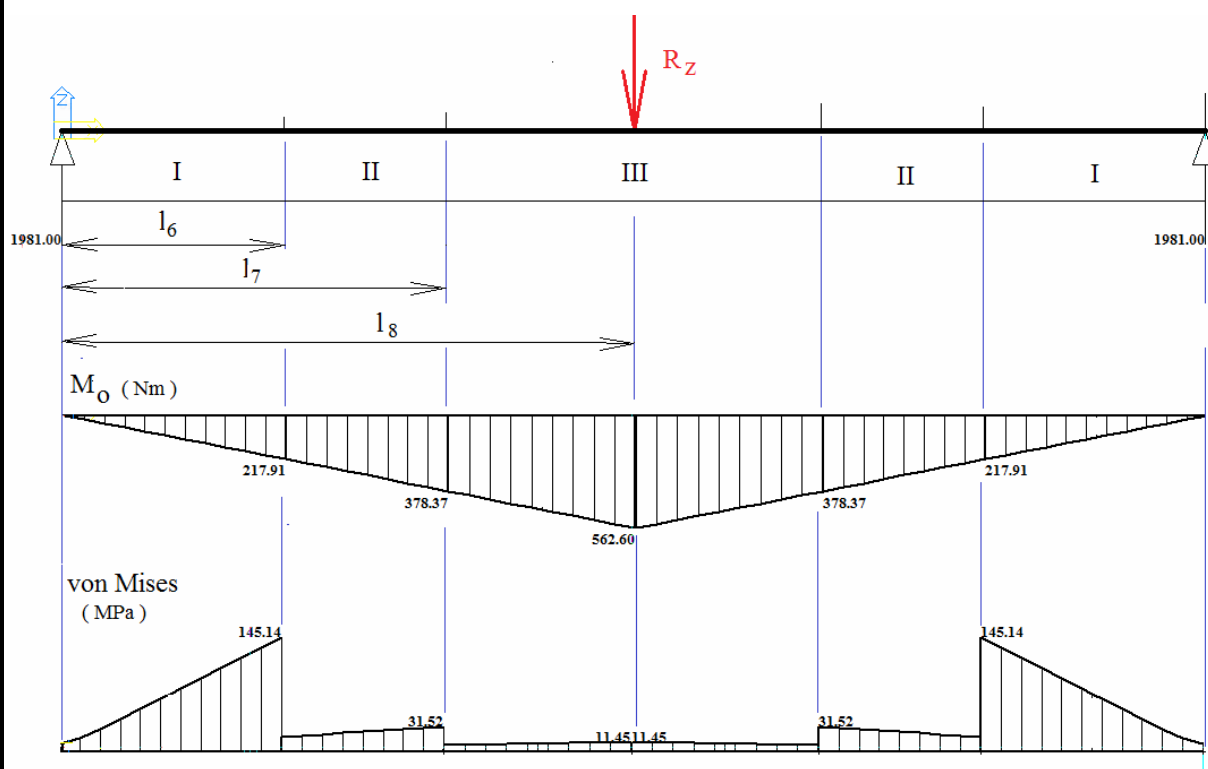
maximální zatížení  $R_Z = 3962N$

Maximální zatížení  $R_Z$  je největší extrémní síla působící na otočný uzel dle přílohy 3.

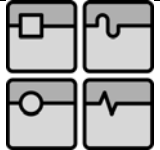
#### • Celkový moment na osu

$$M_{o_{\max}} = \frac{F_{\max} l}{4} [Nm] \quad [3], \text{str. 45} \quad (4.29)$$

$$M_{o_{\max}} = \frac{R_Z l_1}{4} \Rightarrow M_{o_{\max}} = \frac{3962 \cdot 0,568}{4} \Rightarrow M_{o_{\max}} = 562,6 Nm \quad (4.30)$$



Obr. 52 Průběh momentů a napětí na přední ose

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 60
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

### • Nejmenší průměr osy kola I

délka osy  $l_6 = 0,11m$

průměr osy  $d = 0,025m$

$$M_o = \frac{F \cdot l}{2} [MPa] \quad (4.31)$$

$$M_o = \frac{R_z \cdot l_6}{2} \Rightarrow M_o = \frac{3962 \cdot 0,11}{2} \Rightarrow M_o = 217,19 Nm$$

$$W_o = \frac{\pi d^3}{32} [m^3] \quad [3], \text{str. 40} \quad (4.32)$$

$$W_{oI} = \frac{\pi \cdot 0,025^3}{32} \Rightarrow W_o = 1,53 \cdot 10^{-6} m^3$$

$$\sigma_2 = \frac{M_{o_{\max}}}{W_{oI}} [Mpa] \quad (4.33)$$

$$\sigma_2 = \frac{217,19}{1,53 \cdot 10^{-6}} \Rightarrow \sigma_2 = 142 MPa$$

Směrné hodnoty dovolených napětí je pro ocel 12 050 v ohybu pro míjivé zatížení  $\sigma_D = 120 \div 140 MPa$ . [3] Výpočet byl proveden s extrémní hodnotou zatížení. V reálném provozu takové zatížení z důvodu omezujících podmínek působení zatěžující síly by nemělo nastat, ale nelze jej vyloučit.

### • Střední průměr osy kola II

vzdálenost osy od počátku  $l_7 = 0,191m$

průměr osy  $d_1 = 0,048m$

$$M_o = \frac{R_z \cdot l_7}{2} \Rightarrow M_o = \frac{3962 \cdot 0,191}{2} \Rightarrow M_o = 378,37 Nm \quad (4.34)$$

$$W_o = \frac{\pi d^3}{32} [m^3] \quad [3], \text{str. 40} \quad (4.35)$$

$$W_{oII} = \frac{\pi \cdot 0,048^3}{32} \Rightarrow W_o = 1,086 \cdot 10^{-5} m^3$$

$$\sigma_3 = \frac{M_{o_{\max}}}{W_{oII}} [Mpa] \quad (4.36)$$

$$\sigma_3 = \frac{378,37}{1,086 \cdot 10^{-5}} \Rightarrow \sigma_3 = 34,85 \text{ MPa}$$

Směrné hodnoty dovolených napětí je pro ocel S 355 v ohybu pro střídavé zatížení  $\sigma_D = 70 \div 105 \text{ MPa}$ . [3]

$$\sigma_3 \leq \sigma_D \Rightarrow 34,85 \text{ MPa} \leq 70 \div 105 \text{ MPa}$$

#### • Největší průměr osy kola III

vzdálenost osy od počátku  $l_8 = 0,284 \text{ m}$

vnější průměr osy  $d_2 = 0,08 \text{ m}$

vnitřní průměr osy  $d_3 = 0,022 \text{ m}$

$$W_o = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D} [m^3] \quad [3], \text{str. 40} \quad (4.37)$$

$$W_{oIII} = \frac{\pi(d_2^4 - d_3^4)}{32d_2} \Rightarrow W_o = \frac{\pi(0,08^4 - 0,022^4)}{32 \cdot 0,08} \Rightarrow W_o = 4,99 \cdot 10^{-5} m^3$$

$$\sigma_4 = \frac{M_{o_{\max}}}{W_{oIII}} [Mpa] \quad (4.38)$$

$$\sigma_4 = \frac{562,6}{4,99 \cdot 10^{-5}} \Rightarrow \sigma_4 = 11,27 \text{ MPa}$$

Směrné hodnoty dovolených napětí je pro ocel S 355 v ohybu pro střídavé zatížení  $\sigma_D = 70 \div 105 \text{ MPa}$ . [3]

#### 4.5.4 Maximální síla působící na osu kola při tahu, tlaku

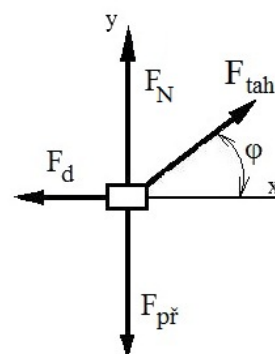
Manipulátor se bude pohybovat po letištních plochách, které mají asfaltový, betonový povrch, tak i zpevněný travnatý povrch.

součinitel valivého odporu – beton:  $f_v = 0,015 \div 0,025$

součinitel valivého odporu – travnatý terén:  $f_v = 0,08 \div 0,15$  [24]

Hmotnost manipulátoru:  $m_M = 256 \text{ kg}$

Maximální hmotnost břemene:  $m = 600 \text{ kg}$



Obr. 53 Síly působící na manipulátor při vlečení

### • Tahová síla na oji

Maximální síla působící na manipulačním oji bude při povoleném maximálním úhlu při vlekání manipulátoru  $\varphi = 45^\circ$  vzhledem k ose x.

$$F_{př} = g \cdot \sum m_i [N] \quad [15] \quad (4.39)$$

$$F_{př} = 9,81 \cdot (256 + 600) \Rightarrow F_{př} = 8398 N$$

$$F_{př} = F_N \quad [15] \quad (4.40)$$

$$F_{tah} = f_V F_N [N] \quad [15] \quad (4.41)$$

**pro beton:**  $F_{tah} = 8398 \cdot 0,025 \Rightarrow F_{tah} = 210 N$

**pro travnatý terén:**  $F_{tah} = 8398 \cdot 0,15 \Rightarrow F_{tah} = 1260 N$

Dále bude počítáno s výslednou hodnotou  $F_{tah}$  pro travnatý terén, jelikož je to maximální zatěžující síla

při úhlu  $\varphi = 0^\circ$   $F_{tah} = F_d$

$$F_{T \max} = \frac{F_{tah}}{\cos \varphi} [N] \quad (4.42)$$

$$F_{T \max} = \frac{1260}{\cos 45} [N] \Rightarrow F_{T \max} = 1782 N$$

Maximální povolená síla působící v tahu při úhlu  $\varphi = 45^\circ$  je 1782 N.

## 4.6 Vlečné a manipulační oje

### 4.6.1 Volba materiálu

Hlavní tyč manipulační oje: materiál 11 353.1, ČSN 42 6711.21 trubka bezešvá přesná kruhová 28/4 [ 9 ]

rukojeť manipulačního oje: materiál 11 353.1, ČSN 42 6711.21 trubka bezešvá přesná kruhová 20/4 [ 9 ]

opěrný rám manipulačního oje: materiál 11 353.1, ČSN 42 6711.21 trubka bezešvá přesná kruhová 14/3 [ 9 ]



Obr. 54 Manipulační oje

#### 4.6.2 Výpočet na tah, na vzpěr

Manipulační a zvedací zařízení bude v běžném provozu taženo, nebo tlačeno pomocí manipulačního oje a proto je potřeba vypočítat napětí v tahu a vzpěr.

- **plocha průřezu**

Hodnoty pro výpočet viz. kap. 4.6.1,  $D = 0,028m$ ;  $d = 0,02mm$ .

$$S_o = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) [m^2] \quad [3], \text{ str.40} \quad (4.43)$$

$$S_o = \frac{\pi}{4} (0,028^2 - 0,02^2) \Rightarrow S_o = 3,02 \cdot 10^{-4} m^2$$

- **napětí v tahu**

Za sílu  $F$  se dosadí tahová síla  $F_{Tmax}$  z výpočtu (4.42), kap. 4.5.4.

$$\sigma_T = \frac{F}{S} \Rightarrow \sigma_T = \frac{F_{Tmax}}{S_o} [MPa] \quad [4], \text{ str.93} \quad (4.44)$$

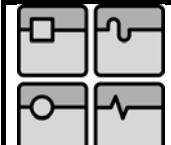
$$\sigma_T = \frac{1782}{3,02 \cdot 10^{-4}} \Rightarrow \sigma_T = 5,9 MPa$$

Pro střídavé zatížení v tahu při použití materiálu 11 353, ČSN 42 6711.21 je dovolené napětí podle tabulek  $\sigma_{dov} = 45 \div 70 MPa$  [3], str. 54

$$\sigma_T < \sigma_{dov} \quad (4.45)$$

$$5,9 MPa < 45 \div 70 MPa$$

Namáhání v tahu plně vyhovuje.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 64
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

### • Výpočet na vzpěr

délka manipulačního oje  $l_2 = 1,615m$

$$I_x = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) [m^4] \quad [3], \text{ str. 40} \quad (4.46)$$

$$I_x = \frac{\pi}{64} (0,028^4 - 0,02^4) \Rightarrow I_x = 2,23 \cdot 10^{-8} m^4$$

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{l_0^2} [N] \quad [3], \text{ str. 36} \quad (4.47)$$

Pro výpočet vzpěru je použit způsob uložení – oba konce kloubově uložené

$$l_0 = l \Rightarrow l_0 = l_3 \quad [3], \text{ str. 36} \quad (4.48)$$

délka hlavní trubky manipulačního oje  $l_3 = 1,414m$  a dosadíme do vztahu 4.28

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 EI_x}{l_3^2} [N] \quad [3] \quad (4.49)$$

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 2,23 \cdot 10^{-8}}{1,414^2} \Rightarrow F_{kr} = 23117N$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{S}} [m^2] \quad [6] \quad (4.50)$$

$$i = \sqrt{\frac{I_x}{S}} \Rightarrow i = \sqrt{\frac{2,23 \cdot 10^{-8}}{3,02 \cdot 10^{-4}}} \Rightarrow i = 8,593 \cdot 10^{-3} m^2$$

$$\lambda = \frac{l}{i} [-] \quad (4.51)$$

$$\lambda = \frac{1,414}{8,593 \cdot 10^{-3}} \Rightarrow \lambda = 164,6$$

$$F = \frac{F_{kr}}{k_v} [N] \Rightarrow k_v = \frac{F_{kr}}{F} [-] \quad [3] \quad (4.52)$$

Hodnota  $F_{T\max} = 1782$  viz. kap. 4.5.4 výpočet (4.42)

$$k_v = \frac{F_{kr}}{F_{T\max}} \Rightarrow k_v = \frac{23117}{1782} \Rightarrow k_v = 12,9$$

$$F_{\text{tah}} < F_{kr} \Rightarrow 7,126kN < 23,117kN ; k_v = 12,9$$

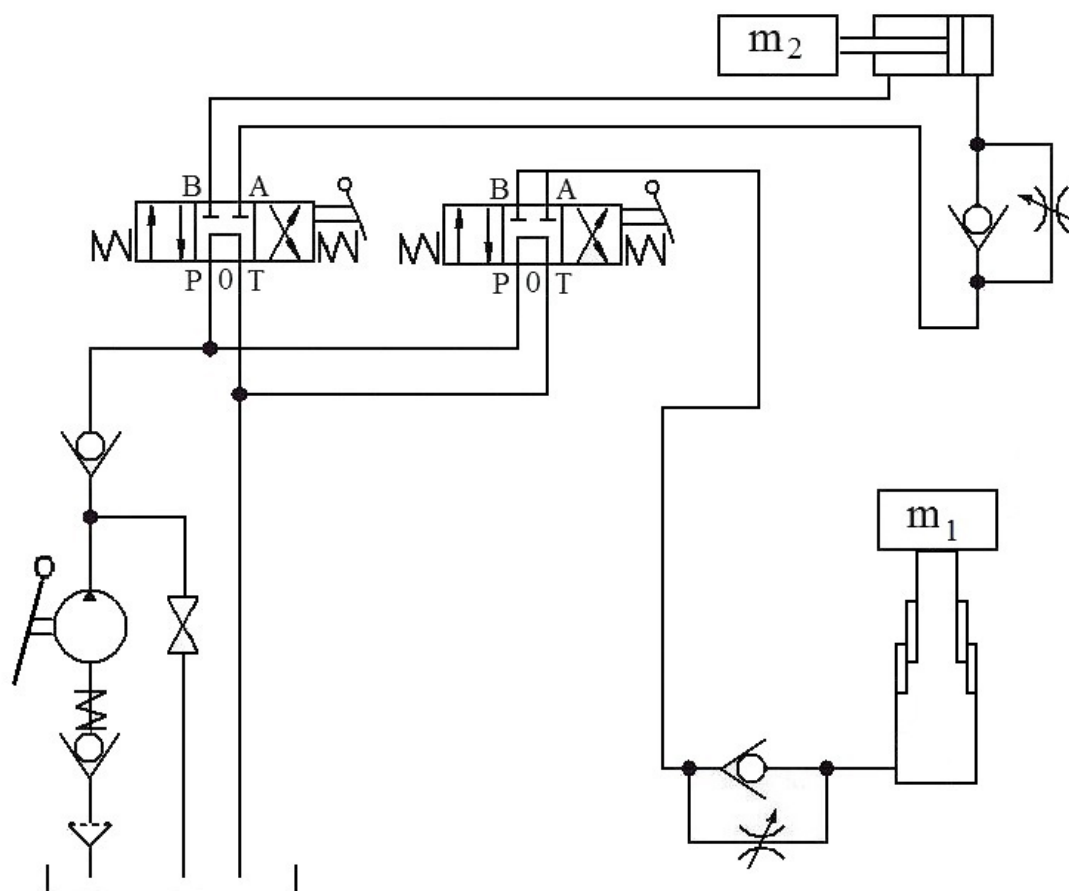
Namáhání vyhovuje podmínkám.



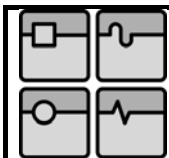
## 4.7 Hydraulický systém

### • Popis činnosti hydraulického systému

Ruční hydraulické čerpadlo nasává přes filtr hydraulickou kapalinu, která je přes jednosměrný ventil přivedena k rozvaděčům, které jsou ovládány manuálně pákou. Rozvaděč má tři polohy. V poloze **0** se tlaková kapalina odvádí zpět do odpadu, tzv. volný okruh, také je tím zabezpečena zvolená poloha zdvihového mechanismu nebo výklopného rámu. Při přesunutí páky do polohy **A** je tlaková kapalina přivedena do dolní části hydromotoru a začne vysouvat pístnici zatíženou silou od břemene. Zároveň rozvaděč propojí prostor nad pístem s hydraulickou nádrží a odvádí přebytečnou kapalinu do odpadu. Při přesunutí páky do polohy **B** se přivádí tlaková kapalina do horní části hydromotoru a zároveň je kapalina přes brzdící ventil, který nám řídí rychlost pohybu zatíženého hydromotoru, odvedena zpět do nádrže.



Obr. 55 Schéma zapojení hydraulického systému

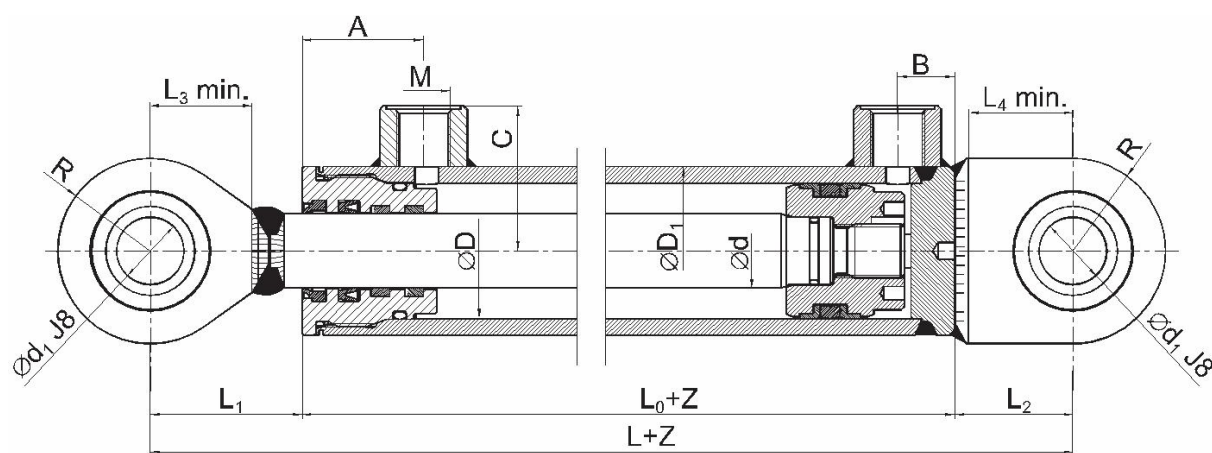


#### 4.7.1 Přímočarý teleskopický hydromotor

Přímočarý teleskopický jednočinný hydromotor není nabízen ve standardním katalogu, ale byl by vyroben na zakázku, tzn. na míru podle dodané technické dokumentace.

#### 4.7.2 Přímočarý hydromotor

Pro ovládání výklopného rámu byl zvolen přímočarý dvojčinný hydromotor série ZH 1 od výrobce HYDRAULICS SEHRADICE pro  $p_{\max}$  20 MPa, podle firemního katalogu. [16]



Obr. 56 Hydromotor ZH 1 [16]

Parametry jsou zvoleny dle katalogu HYDRAULICS<sup>CS</sup> SEHRADICE. [16]

$D = 32 \text{ mm}$	$L_0+Z = 235 \text{ mm}$	$M = 12 \times 1,5$
$D_1 = 42 \text{ mm}$	$L_1 = 45 \text{ mm}$	$A = 36 \text{ mm}$
$d = 20 \text{ mm}$	$L_2 = 35 \text{ mm}$	$B = 17 \text{ mm}$
$d_1 = 20 \text{ mm}$	$L_3 = 32 \text{ mm}$	$C = 39 \text{ mm}$
$h = 145 \text{ mm}$	$L_4 = 31 \text{ mm}$	$R = 27,5 \text{ mm}$

Hmotnost přímočarého dvojčinného hydromotoru bez kapaliny je 2,62 kg.

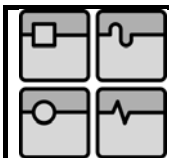
### 4.7.3 Hydraulické čerpadlo

Bylo vybráno dvojčinné ruční čerpadlo PMS – 45 s olejovou nádrží s obsahem 5 litrů vhodné pro přímočaré hydromotory. Čerpadlo je upevněno na olejovou nádrž a vybaveno integrovaným spouštěcím ventilem. [21]

- Maximální tlak: 270 bar ( 27 MPa)
- Výtlak na jeden takt: 45 cm<sup>3</sup>



Obr. 57 Ruční hydraulické čerpadlo PMS - 25 [21]



## 5 Kontrolní výpočty

### 5.1 Teleskopický přímočarý jednočinný hydromotor

#### 5.1.1 Kontrola hydromotoru na vzpěr

- Hodnoty pro výpočet**

maximální síla na pístnici:  $F_{pis} = 6347 N$

nejmenší průměr pístnice hydromotoru:  $d = 0,025 m$

maximální délka hydromotoru:  $l_9 = 1,279 m$

minimální délka hydromotoru:  $l_{10} = 0,36 m$

$$S_p = \frac{\pi d^2}{4} [m^2] \quad [3], \text{ str. 40} \quad (5.1)$$

$$S_p = \frac{\pi \cdot 0,025^2}{4} \Rightarrow S_p = 4,91 \cdot 10^{-4} m^2$$

$$I_x = \frac{\pi d^4}{64} [m^4] \quad [3], \text{ str. 40} \quad (5.2)$$

$$I_x = \frac{\pi 0,025^4}{64} \Rightarrow I_x = 1,92 \cdot 10^{-8} m^4$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{S}} [m^2] \quad [6] \quad (5.3)$$

$$i = \sqrt{\frac{I_x}{S_p}} \Rightarrow i = \sqrt{\frac{1,92 \cdot 10^{-8}}{4,91 \cdot 10^{-4}}} \Rightarrow i = 6,253 \cdot 10^{-3} m^2$$


##### 5.1.1.1 Hydromotor v základní poloze

Stanovení délky prutu dle Eulera

$$l_0 = l \Rightarrow l_0 = l_{10} \Rightarrow l_0 = 0,36 m \quad [3], \text{ str. 36} \quad (5.4)$$

$$\lambda = \frac{l_0}{i} [-] \quad (5.5)$$

$$\lambda = \frac{l_0}{i} \Rightarrow \lambda = \frac{l_{10}}{i} \Rightarrow \lambda = \frac{0,36}{6,253 \cdot 10^{-3}} \Rightarrow \lambda = 57,6$$

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 69
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

• Výpočet kritické síly a napětí

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{l^2} [N] \quad [3], \text{str. 36} \quad (5.6)$$

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 EI_x}{l_0^2} \Rightarrow F_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 1,92 \cdot 10^{-8}}{0,36^2} \Rightarrow F_{kr} = 307054 N$$

$$\sigma = \frac{N}{S} [N] \quad [6], \text{str. 101} \quad (5.7)$$

$$\sigma_{kr} = \frac{F_{kr}}{S_p} \Rightarrow \sigma_{kr} = \frac{307054}{4,91 \cdot 10^{-4}} \Rightarrow \sigma_{kr} = 625,364 MPa$$

$$\sigma = \frac{F_{pis}}{S_p} \Rightarrow \sigma = \frac{6347}{4,91 \cdot 10^{-4}} \Rightarrow \sigma = 12,927 MPa$$

$$F_{pis} \leq F_{kr}; 6,347 kN \leq 307,054 kN \quad \sigma \leq \sigma_{kr}; 12,927 MPa \leq 625,3564 MPa$$

Vyhovuje technickým podmínkám.

**5.1.1.2 Hydromotor v maximálně vysunuté poloze**

$$l_0 = l \Rightarrow l_0 = l_9 \Rightarrow l_0 = 1,279 m \quad [3], \text{str. 36} \quad (5.8)$$

$$\lambda = \frac{l_0}{i} [-] \quad (5.9)$$

$$\lambda = \frac{l_0}{i} \Rightarrow \lambda = \frac{l_9}{i} \Rightarrow \lambda = \frac{1,279}{6,253 \cdot 10^{-3}} \Rightarrow \lambda = 204,5$$

• Výpočet kritické síly a napětí

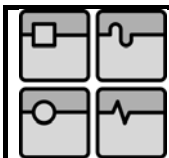
$$F_{kr} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{l^2} [N] \quad [3], \text{str. 36} \quad (5.10)$$

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 EI_x}{l_9^2} \Rightarrow F_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 1,92 \cdot 10^{-8}}{1,279^2} \Rightarrow F_{kr} = 24327 N$$

$$\sigma = \frac{N}{S} [N] \quad [6], \text{str. 101} \quad (5.11)$$

$$\sigma_{kr} = \frac{F_{kr}}{S_p} \Rightarrow \sigma_{kr} = \frac{24327}{4,91 \cdot 10^{-4}} \Rightarrow \sigma_{kr} = 49,569 MPa$$

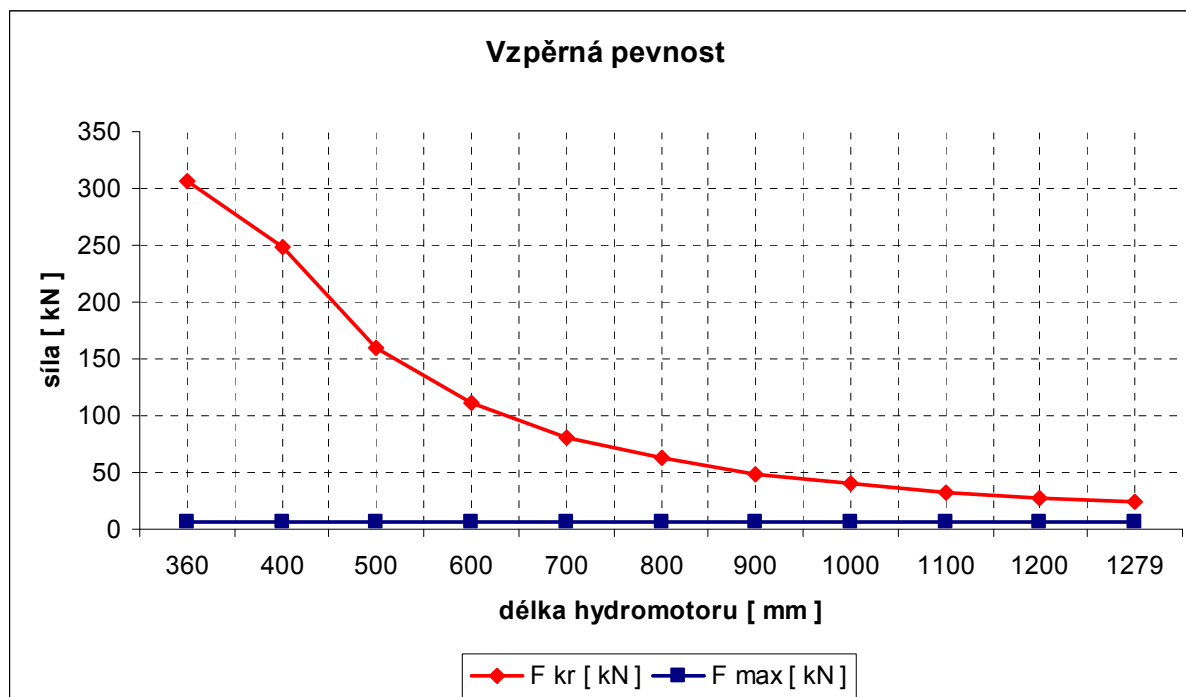
$$\sigma = \frac{F_{pis}}{S_p} \Rightarrow \sigma = \frac{6347}{4,91 \cdot 10^{-4}} \Rightarrow \sigma = 12,927 MPa$$



$$F_{pis} \leq F_{kr}; 6,347kN \leq 24,327kN$$

$$\sigma \leq \sigma_{kr}; 12,927MPa \leq 49,569MPa$$

Vyhovuje technickým podmínkám.

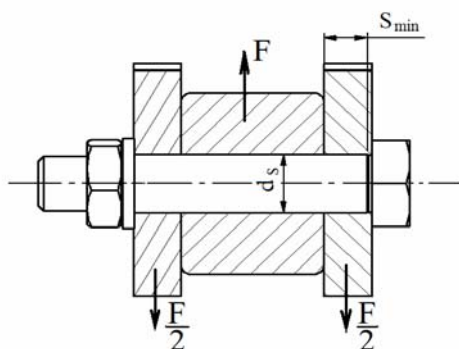


Graf 6. Hodnota kritické síly při vysouvání pístnice

Maximální zatížení navrženého teleskopického přímočarého hydromotoru je po celou dobu vysouvání a zasouvání pístnice konstantní  $F_{\max} = F_{pis} \Rightarrow F_{pis} = 6,347kN$ . Při maximálním vysunutí je koeficient bezpečnosti  $k = 3,8$ .

### 5.1.2 Šroub uchycení hydromotoru k hlavnímu rámu

Pro uchycení válce přímočarého hydromotoru k nosnému rámu lícovaný šroub s krátkým závitem podle normy ČSN 02 1112.



$$S_{min} = 0,005$$

$$d_s = 0,014 m$$

Obr. 58 Uchycení teleskopického přímočarého hydromotoru

Směrné hodnoty dovolených napětí v lícovaných šroubových spojích je pro ocel 11 500 sevřených součástí  $p_D = 56 \text{ MPa}$  a pro materiál šroubů 5D  $\tau_{Ds} = 35 \text{ MPa}$  pro střídavé namáhání.

[5], str. 161, tab. 1.42

- Namáhání na smyk**

Hodnoty dosazený dle obr.58 a z výpočtu (4.25)

$$\tau = \frac{4F}{\pi d_s^2} \leq \tau_{Ds} \Rightarrow \tau_s = \frac{4 \frac{F_{\max}}{2}}{\pi d_s^2} \leq \tau_{Ds} \Rightarrow \tau = \frac{2F_{\max}}{\pi d_s^2} \leq \tau_{Ds} [\text{MPa}] \quad [5], \text{str. 161} \quad (5.12)$$

$$\tau = \frac{2 \cdot 6504}{\pi \cdot 0,014^2} \leq 35 \text{ MPa} \Rightarrow \tau = 21,125 \text{ MPa} \leq 35 \text{ MPa} \quad (5.13)$$

Namáhání na smyk vyhovuje.

- Namáhání na otláčení**

Hodnoty dosazený dle obr.58.

$$p = \frac{F}{S_{\min} d_s} \leq p_D \Rightarrow p = \frac{F_{\max}}{2(S_{\min} d_s)} \leq p_D [\text{Pa}] \quad [5], \text{str. 161} \quad (5.14)$$

$$p = \frac{6504}{2 \cdot (0,005 \cdot 0,014)} \leq 56 \Rightarrow p = 46,457 \text{ MPa} \leq 56 \text{ MPa} \quad (5.15)$$

Namáhání na otláčení vyhovuje.

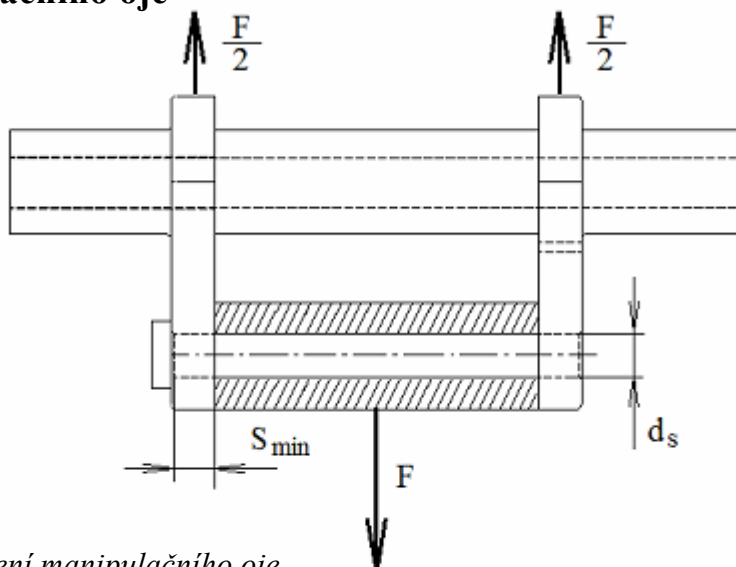
## 5.2 Čep uchycení manipulačního oje

$$d_s = 0,02 \text{ m}$$

$$S_{\min} = 0,019 \text{ m}$$

$$F_{T \max} = 7126 \text{ N}$$

$$F = F_{tah}$$



Obr. 59 Uchycení manipulačního oje

Směrné hodnoty dovolených napětí čepových a kolíkových spojů je pro ocel 12 050 sevřených součástí  $p_D = 56 \text{ MPa}$  a  $\tau_{Ds} = 45 \text{ MPa}$  pro střídavé namáhání.

[5], str. 171, tab. 1.45

- Namáhání na smyk**

$$\tau = \frac{4F}{\pi d_s^2} \leq \tau_{Ds} \Rightarrow \tau = \frac{4 \frac{F_{T \max}}{2}}{\pi d_s^2} \leq \tau_{Ds} \Rightarrow \tau = \frac{2F_{T \max}}{\pi d_s^2} \leq \tau_{Ds} [\text{MPa}] \quad [5], \text{str. 161} \quad (5.16)$$

$$\tau = \frac{2 \cdot 7126}{\pi \cdot 0,02^2} \Rightarrow \tau = 11,342 \text{ MPa}$$

$$\tau \leq \tau_{Ds} [\text{MPa}] \Rightarrow 8,02 \text{ MPa} \leq 45 \text{ MPa}$$

Namáhání na smyk vyhovuje.

- Namáhání na otláčení**

$$p = \frac{F}{S_{\min} d_s} \leq p_D \Rightarrow p = \frac{F_{T \max}}{2(S_{\min} d_s)} \leq p_D [\text{MPa}] \quad [5], \text{str. 161} \quad (5.17)$$

$$p = \frac{7126}{2 \cdot (0,019 \cdot 0,02)} \Rightarrow p = 9,377 \text{ MPa}$$

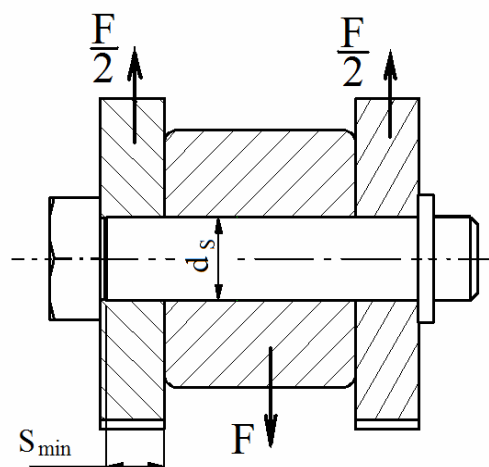
$$p \leq p_D [\text{MPa}] \Rightarrow 6,63 \text{ MPa} \leq 56 \text{ MPa}$$

Namáhání na otláčení vyhovuje.

### 5.3 Čepy uchycení pák k rámcům

$$S_{\min} = 0,010 \text{ m}$$

$$d_s = 0,022 \text{ m}$$



Obr. 60 Čep uchycení páky v konzole rámu



Směrné hodnoty dovolených napětí čepových a kolíkových spojů je pro ocel 12 050 součástí  $p_D = 56 \text{ MPa}$  a  $\tau_{Ds} = 45 \text{ MPa}$  pro střídavé namáhání. [5], str. 171, tab. 1.45.

Největší síla působící na čep viz. kap. 4.3.1, tab. 3  $R_x = 11750 \text{ N}$

- Namáhání na smyk**

$$\tau = \frac{4F}{\pi d_s^2} \leq \tau_{Ds} \Rightarrow \tau_s = \frac{4 \frac{R_x}{2}}{\pi d_s^2} \leq \tau_{Ds} \Rightarrow \tau = \frac{2R_x}{\pi d_s^2} \leq \tau_{Ds} [\text{MPa}] \quad [5], \text{str. 161} \quad (5.18)$$

$$\tau = \frac{2 \cdot 11750}{\pi \cdot 0,022^2} \Rightarrow \tau = 15,455 \text{ MPa}$$

$$\tau \leq \tau_{Ds} \Rightarrow 15,455 \text{ MPa} \leq 45 \text{ MPa}$$

Namáhání na smyk vyhovuje.

- Namáhání na otláčení**

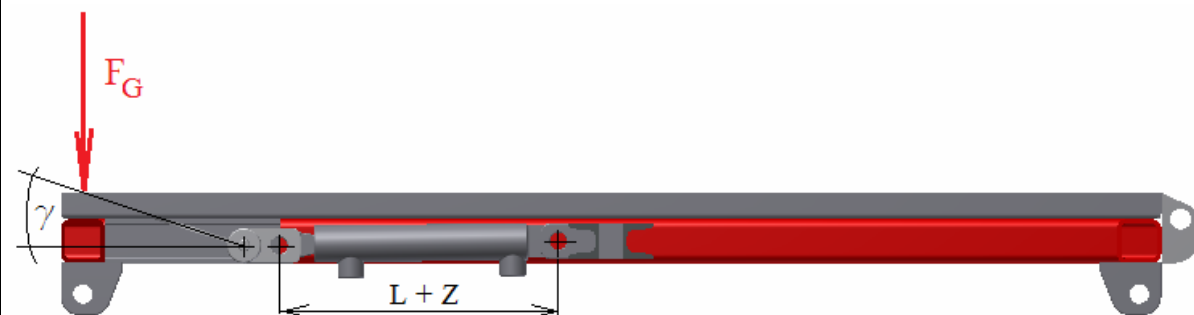
$$p = \frac{F}{S_{\min} d_s} \leq p_D \Rightarrow p = \frac{R_x}{2(S_{\min} d_s)} \leq p_D [\text{MPa}] \quad [5], \text{str. 161} \quad (5.19)$$

$$p = \frac{11750}{2 \cdot 0,01 \cdot 0,022} \Rightarrow p = 26,705 \text{ MPa}$$

$$p \leq p_D \Rightarrow 26,705 \text{ MPa} \leq 56 \text{ MPa}$$

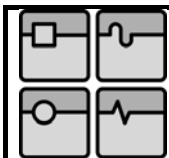
Namáhání na otláčení vyhovuje.

## 5.4 Přímočarý dvojčinný hydromotor



Obr. 61 Manipulační rám v základní poloze

úhel páky zdvihu k vodorovné ose hydromotoru:  $\gamma = 18,5^\circ$



celková délka hydromotoru v zasunuté poloze:  $L + Z = 0,315m$

délka nosníku uchycení hydromotorů:  $L_1 = 0,4m$

### 5.4.1 Výpočet zatěžující síly

Výpočet je proveden v základní poloze, protože v tomto stavu působí na přímočarý dvojčinný hydromotor největší zatěžující síla.

$$F_{\max} = \frac{F_G}{\sin \gamma} [N] \quad (5.20)$$

$$F_{\max} = \frac{5886}{\sin 18,5} \Rightarrow F_{\max} = 18550N$$

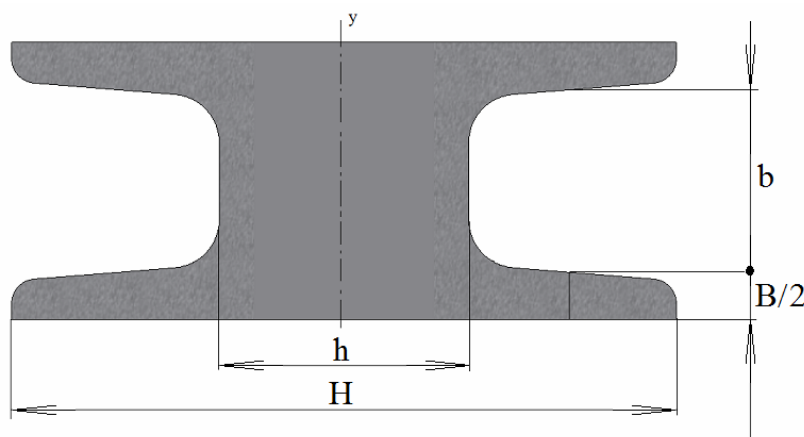
$$F_{pis} = \sqrt{F_{\max}^2 - F_G^2} [N] \quad (5.21)$$

$$F_{pis} = \sqrt{18550^2 - 5886^2} \Rightarrow F_{pis} = 17592N$$

### 5.4.2 Kontrola nosníku na ohyb

Pro uchycení válce přímočarého dvojčinného hydromotoru je využit nosník pro teleskopický přímočarý hydromotor. Pomocí vnitřní kostky pro uložení teleskopického hydromotoru byla využita varianta vyznačující se dvojnásobnou symetrií obr.39 a tímto postavení profilů a vloženou kostkou vznikl profil I.

- **Průřezový modul v ohybu profilu nosníku**



Obr. 62 Profil nosníku uchycení hydromotoru

$$B/2 = 0,007m$$

$$b = 0,03m$$

$$H = 0,096m$$

$$h = 0,036m$$

$$W_o = \frac{BH^3 + bh^3}{6H} [m^3] \quad [3], \text{ str. 41} \quad (5.22)$$

$$W_o = \frac{0,014 \cdot 0,096^3 + 0,026 \cdot 0,036^3}{6 \cdot 0,096} \Rightarrow 2,361 \cdot 10^{-5} m^3$$

#### • Ohybový moment

$$M_{o_{\max}} = \frac{F_{\max} l}{4} [Nm] \Rightarrow M_{o_{\max}} = \frac{F_{pis} \cdot L_1}{4} [Nm] \quad [3], \text{ str. 45} \quad (5.23)$$

$$M_{o_{\max}} = \frac{17592 \cdot 0,4}{4} \Rightarrow M_{o_{\max}} = 1760 [Nm]$$

#### • Napětí v zatížení na ohyb

$$\sigma_1 = \frac{M_{o_{\max}}}{W_o} [Mpa] \quad (5.24)$$

$$\sigma_1 = \frac{1760}{2,361 \cdot 10^{-5}} \Rightarrow \sigma_1 = 74,545 MPa$$

Pro střídavé zatížení v ohybu při použití materiálu 11 375, S 235JR EN dle 10025-2 je dovolené napětí podle tabulek  $\sigma_{dov} = 50 \div 75 MPa$  [3], str. 55

$$\sigma_1 < \sigma_{dov} \quad (5.25)$$

$$74,545 MPa < 50 \div 75 MPa$$

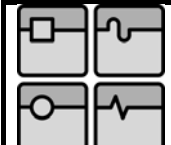
Navržený tvar nosníku pro střídavé namáhání v ohybu vyhovuje. Hodnota je hraniční, ale jedná se o extrémní zatížení, které v reálném provozu z důvodu omezujících podmínek polohy působení zatěžující síly nenastane, vzhledem k lidskému faktoru ji nelze zcela vyloučit.

### 5.4.3 Kontrola hydromotoru na vzpěr

#### • Hodnoty pro výpočet

Průměr pístnice dosazen z kap. 4.7.2 podle parametrů hydromotoru viz. obr. 54.

$$S_p = \frac{\pi d^2}{4} [m^2] \quad [3], \text{ str. 40} \quad (5.26)$$

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 76
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

$$S_p = \frac{\pi \cdot 0,02^2}{4} \Rightarrow S_p = 3,142 \cdot 10^{-4} m^2$$

$$I_x = \frac{\pi d^4}{64} [m^4] \quad [3], \text{ str. 40} \quad (5.27)$$

$$I_x = \frac{\pi \cdot 0,02^4}{64} \Rightarrow I_x = 7,854 \cdot 10^{-9} m^4$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{S}} [m^2] \quad [6] \quad (5.28)$$

$$i = \sqrt{\frac{I_x}{S_p}} \Rightarrow i = \sqrt{\frac{7,854 \cdot 10^{-9}}{3,142 \cdot 10^{-4}}} \Rightarrow i = 5 \cdot 10^{-3} m^2$$

#### 5.4.3.1 Hydromotor v základní poloze

Stanovení délky prutu dle Eulera

$$l_0 = l \Rightarrow l_0 = L + Z \Rightarrow l_0 = 0,315 m \quad [3], \text{ str. 36} \quad (5.29)$$

$$\lambda = \frac{l_0}{i} [-] \quad (5.30)$$

$$\lambda = \frac{l_0}{i} \Rightarrow \lambda = \frac{L + Z}{i} \Rightarrow \lambda = \frac{0,315}{5 \cdot 10^{-3}} \Rightarrow \lambda = 63$$

#### • Výpočet kritické síly a napětí

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{l^2} [N] \quad [3], \text{ str. 36} \quad (5.31)$$

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 EI_x}{(L + Z)^2} \Rightarrow F_{kr} = \frac{\pi^2 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 7,854 \cdot 10^{-9}}{0,315^2} \Rightarrow F_{kr} = 164054 N$$

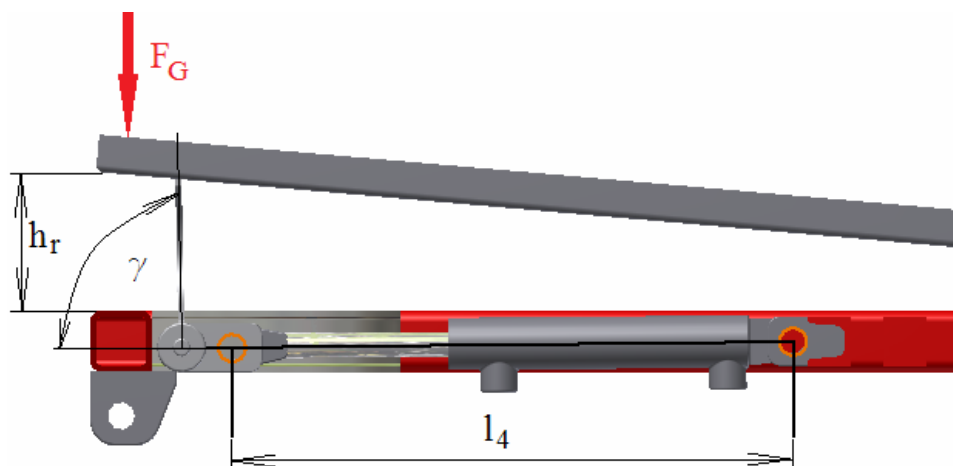
$$F = \frac{F_{kr}}{k_v} [N] \Rightarrow k_v = \frac{F_{kr}}{F} \quad [3] \quad (5.32)$$

$$k_v = \frac{F_{kr}}{F} \Rightarrow k_v = \frac{F_{kr}}{F_{pis}} \Rightarrow k_v = \frac{164045}{17592} \Rightarrow k_v = 9,3$$

$$F_{pis} \leq F_{kr}; 17,592 kN \leq 164,054 kN$$

V základní poloze ( zasunutá pístnice hydromotoru ) působí na přímočarý hydromotor maximální síla v ose hydromotoru  $F_{\max} = F_{pis}$ . Koeficient bezpečnosti  $k_v = 9,3$ .

#### 5.4.3.2 Hydromotor v maximálně vysunuté poloze



Obr. 63 Manipulační rám při maximálním vysunutí pístnice hydromotoru

úhel páky zdvihového mechanismu  $\gamma = 89^\circ$

délka hydromotoru při max. vysunutí pístnice  $l_4 = 0,45m$

max. vzdálenost mezi rámy při náklonu  $h_r = 0,112m$

$$F_{\max} = \frac{F_G}{\sin \gamma} [N] \quad (5.33)$$

$$F_{\max} = \frac{5886}{\sin 89} \Rightarrow F_{\max} = 5887N$$

$$F_{pis} = \sqrt{F_{\max}^2 - F_G^2} [N] \quad (5.34)$$

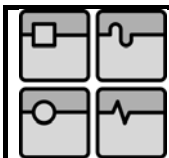
$$F_{pis} = \sqrt{5887^2 - 5886^2} \Rightarrow F_{pis} = 108N$$

Stanovení délky prutu dle Eulera

$$l_0 = l \Rightarrow l_0 = l_4 \Rightarrow l_0 = 0,45m \quad [3], \text{ str. 36} \quad (5.35)$$

$$\lambda = \frac{l_0}{i} [-] \quad (5.36)$$

$$\lambda = \frac{l_0}{i} \Rightarrow \lambda = \frac{l_4}{i} \Rightarrow \lambda = \frac{0,45}{5 \cdot 10^{-3}} \Rightarrow \lambda = 90$$



### • Výpočet kritické síly a napětí

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{l^2} [N] \quad [3], \text{str. 36} \quad (5.37)$$

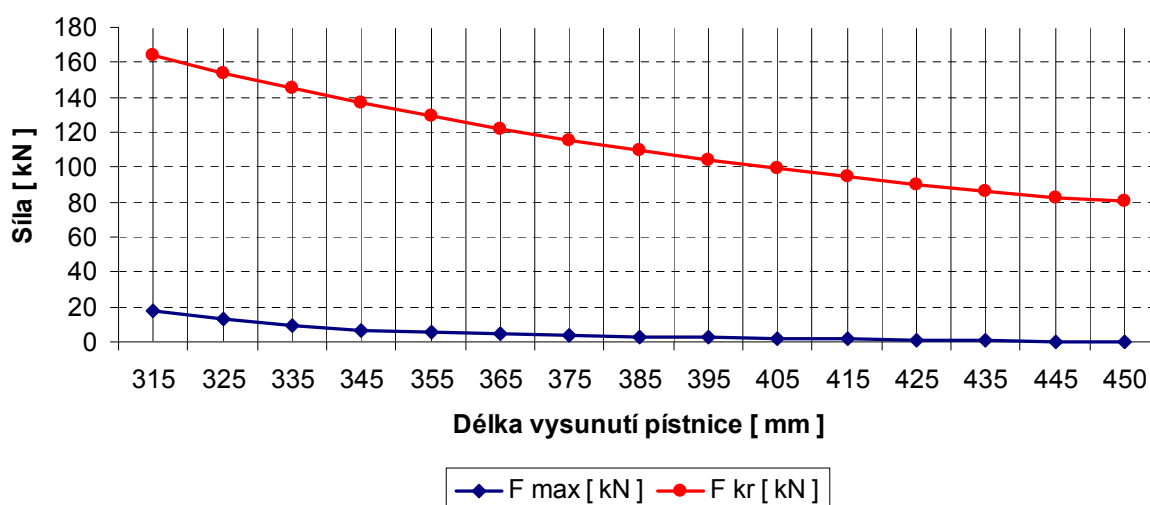
$$F_{kr} = \frac{\pi^2 EI_x}{l_4^2} \Rightarrow F_{kr} = \frac{\pi^2 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 7,584 \cdot 10^{-9}}{0,45^2} \Rightarrow F_{kr} = 80386 N$$

$$F = \frac{F_{kr}}{k_v} [N] \Rightarrow k_v = \frac{F_{kr}}{F} \quad [6] \quad (5.38)$$

$$k_v = \frac{F_{kr}}{F} \Rightarrow k_v = \frac{F_{kr}}{F_{pis}} \Rightarrow k_v = \frac{80368}{108} \Rightarrow k_v = 744$$

$$F_{pis} \leq F_{kr}; 0,108 kN \leq 80,386 kN ; k_v = 744$$

### Vzpěrná pevnost



Graf 7. Hodnota kritické síly při vysouvání pístnice

	315 mm	325 mm	335 mm	345 mm	355 mm	365 mm	375 mm	385 mm
F max [ kN ]	17,592	13,096	9,098	7,015	5,585	4,648	3,851	3,169
F kr [ kN ]	164,051	154,111	145,048	136,761	129,165	122,184	115,755	109,82
	395 mm	405 mm	415 mm	425 mm	435 mm	445 mm	450 mm	
F max [ kN ]	2,583	2,048	1,555	1,09	0,643	0,217	0,109	
F kr [ kN ]	104,329	99,24	94,515	90,12	86	82,187	80,37	

Tab. 7 Tabulka vypočítaných výsledných sil při posuvu pístnice hydromotoru

#### 5.4.4 Čepy uchycení hydromotoru

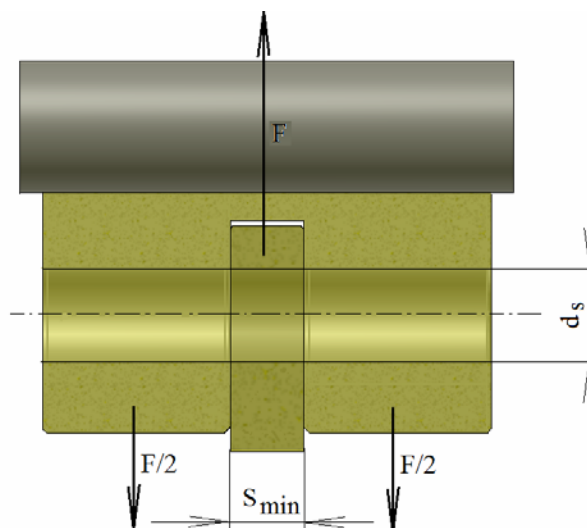
Směrné hodnoty dovolených napětí čepových a kolíkových spojů je pro ocel 12 050 sevřených součástí  $p_D = 56 \text{ MPa}$  a  $\tau_{Ds} = 45 \text{ MPa}$  pro střídavé namáhání.

[5], str. 171, tab. 1.45

$$d_s = 0,02 \text{ m}$$

$$S_{\min} = 0,016 \text{ m}$$

$$F_{\max} = 18550 \text{ N}$$



Obr. 64 Řez uchycení pístnice hydromotoru

- Namáhání na smyk**

$$\tau = \frac{4F}{\pi d_s^2} \leq \tau_D \Rightarrow \tau_s = \frac{4 \frac{F_{\max}}{2}}{\pi d_s^2} \leq \tau_{Ds} \Rightarrow \tau = \frac{2F_{\max}}{\pi d_s^2} \leq \tau_{Ds} [\text{MPa}] \quad [5], \text{str. 161} \quad (5.39)$$

$$\tau = \frac{2 \cdot 18550}{\pi \cdot 0,02^2} \Rightarrow \tau = 29,524 \text{ MPa}$$

$$\tau \leq \tau_{Ds} \Rightarrow 29,524 \text{ MPa} \leq 45 \text{ MPa}$$

Namáhání na smyk vyhovuje.

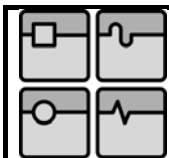
- Namáhání na otláčení**

$$p = \frac{F}{S_{\min} d_s} \leq p_D \Rightarrow p = \frac{F_{\max}}{2(S_{\min} d_s)} \leq p_D [\text{MPa}] \quad [5], \text{str. 161} \quad (5.40)$$

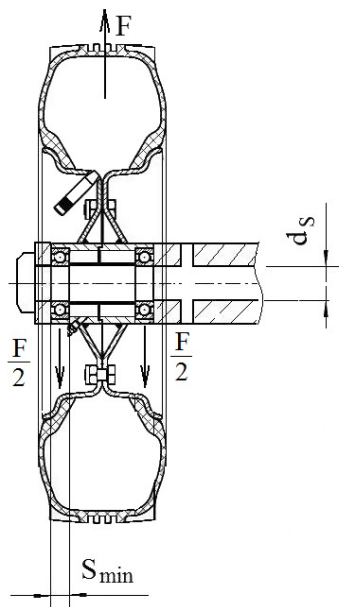
$$p = \frac{18550}{2 \cdot 0,016 \cdot 0,02} \Rightarrow p = 28,984 \text{ MPa}$$

$$p \leq p_D \Rightarrow 28,984 \text{ MPa} \leq 56 \text{ MPa}$$

Namáhání na otláčení vyhovuje.



## 5.5 Osa předního kola



Na přední otočný uzel působí maximální síla  $R_z = 3962 \text{ N}$  viz. výsledné reakce příloha 3 a tato síla se rozkládá na dvě kola.

$$F = \frac{R_z}{2} [\text{N}] \Rightarrow F = \frac{3962}{2} \Rightarrow F = 1981 \text{ N} \quad (5.41)$$

$$d_s = 0,025 \text{ m}$$

$$S_{\min} = 0,014 \text{ m}$$

Obr. 65 Uložení předního kola

Směrné hodnoty dovolených napětí je pro ocel 12 050 sevřených součástí  $p_D = 150 \text{ MPa}$  a  $\tau_{Ds} = 45 \text{ MPa}$  pro střídavé namáhání. [3]

### • Smyk

$$\tau = \frac{4F}{\pi d_s^2} \leq \tau_{Ds} \Rightarrow \tau = \frac{4 \cdot \frac{F}{2}}{\pi d_s^2} \Rightarrow \tau = \frac{2F}{\pi d_s^2} [\text{MPa}] \quad (5.42)$$

$$\tau = \frac{2 \cdot 1981}{\pi \cdot 0,025^2} \leq 45 \Rightarrow \tau = 2,018 \text{ MPa} \leq 45 \text{ MPa}$$

Namáhání na smyk vyhovuje.

### • Otlačení

Hodnoty dosazeny dle obr. 65

$$p = \frac{F}{S_{\min} d_s} [\text{MPa}] \leq p_D [\text{MPa}] \quad [5], \text{str.161} \quad (5.43)$$

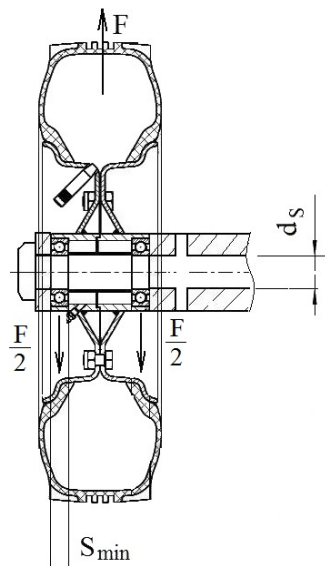
$$p = \frac{1981}{2 \cdot (0,014 \cdot 0,025)} \leq 150 \Rightarrow p = 2,83 \text{ MPa} \leq 150 \text{ MPa}$$

Namáhání na otlačení vyhovuje.



## 5.6 Osa zadního kola

Na zadní kolo působí maximální síla  $R_z = 2496 \text{ N}$   
viz. výsledné reakce příloha 5.



$$F = R_z [N] \Rightarrow F = 2496 \text{ N} \quad (5.44)$$

$$d_s = 0,025 \text{ m}$$

$$S_{\min} = 0,014 \text{ m}$$

Obr. 66 Uložení zadního kola

Směrné hodnoty dovolených napětí je pro ocel 12 050 sevřených součástí  $p_D = 150 \text{ MPa}$  a  $\tau_{Ds} = 45 \text{ MPa}$  pro střídavé namáhání. [3]

### • Smyk

$$\tau = \frac{4F}{\pi d_s^2} \leq \tau_{Ds} \Rightarrow \tau = \frac{4 \cdot \frac{F}{2}}{\pi d_s^2} \Rightarrow \tau = \frac{2F}{\pi d_s^2} [\text{MPa}] \quad [5] \quad (5.45)$$

$$\tau = \frac{2 \cdot 2496}{\pi \cdot 0,025^2} \leq 150 \Rightarrow \tau = 2,543 \text{ MPa} \leq 150 \text{ MPa}$$

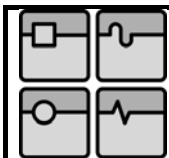
### • Otláčení

Hodnoty dosazeny dle obr. 66.

$$p = \frac{F}{S_{\min} d_s} [\text{MPa}] \leq p_D [\text{MPa}] \quad [5], \text{str.161} \quad (5.46)$$

$$p = \frac{2496}{2 \cdot (0,014 \cdot 0,025)} \leq 45 \Rightarrow p = 3,566 \text{ MPa} \leq 45 \text{ MPa}$$

Namáhání na otláčení vyhovuje.



## 5.7 Kontrola stability

Manipulátor bude většinu času používán mimo uzavřené prostory, proto je provedena kontrola na překlopení. Na zařízení nejvíce bude působit vítr. Je počítáno s extrémním stavem, kdy je manipulováno s břemenem s maximální povolenou hmotností a rychlostí větru 25 m/s, to je mezní hodnota, kdy je povolen letový provoz.

Výška působení vnější síly ve dvou polohách.

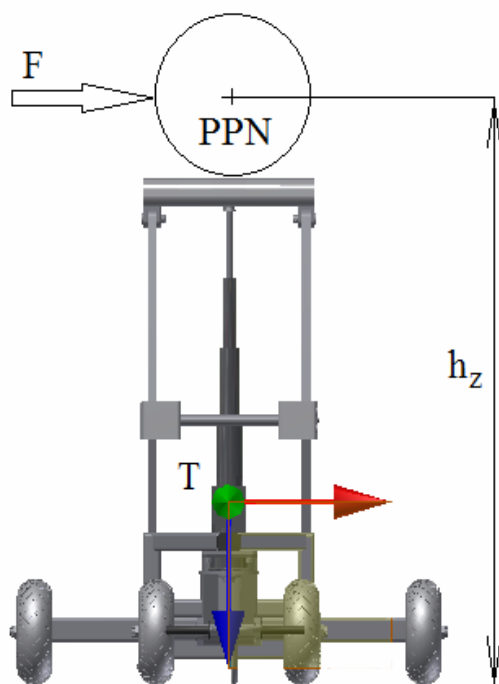
- přepravní, základní poloha:  $h_z = 0,795$  m
- poloha při max. výšce zdvihu:  $h_z = 1,69$  m

Maximální síla je vypočítána v kap. 4.5.4

výpočet (4.39):  $F_{pr} = 8398$  N

Vzdálenost ke klopné hraně od těžiště

manipulátoru:  $l_k = 0,39$  m



Obr. 67 Manipulátor s břemenem

### • Břemeno

Největší z používaných břemen je přídavná palivová nádrž.

délka PPN:  $l_n = 3,3$  m

průměr PPN:  $d_n = 0,49$  m

### 5.7.1 Zatěžující síla od proudění vzduchu

Největší plochu s používaných břemen má přídavná palivová nádrž.

Součinitel vzdušného odporu ( plochá deska ):

$$c_x = 1 \text{ až } 1,2 \text{ [ - ]}$$

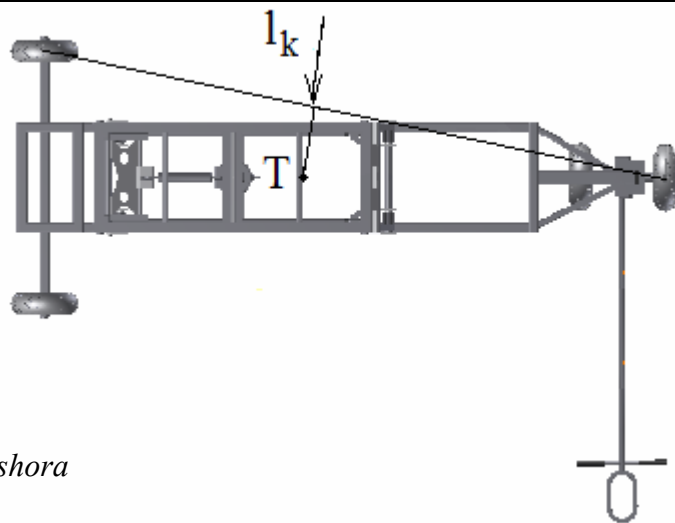
Měrná hmotnost vzduchu při  $-30^\circ \text{ C}$ :

$$\rho = 1,453 \text{ kg.m}^{-3}$$

Náporová rychlost:

$$v_r = 25 \text{ m.s}^{-1}$$

Pro zjednodušení výpočtu se břemeno uvažuje jako plochá deska, proto byl zvolen součinitel odporu  $c_x = 1,2$ .



Obr. 68 Pohled shora

$$S_x = l_n d_n [m^2] \quad (5.47)$$

$$S_x = 3,3 \cdot 0,49 \Rightarrow S_x = 1,617 m^2$$

$$O_v = c_x \frac{\rho}{2} S_x v_r^2 [N] \quad [24] \quad (5.48)$$

$$O_v = 1,2 \cdot \frac{1,453}{2} 1,617 \cdot 25^2 \Rightarrow O_v = 881 N$$

### 5.7.2 Rovnovážná poloha

- **Moment stabilizující**

$$M_s = Q \frac{b}{2} [Nm] \Rightarrow M_s = F_{pr} \frac{l_k}{2} [Nm] \quad [23] \quad (5.49)$$

$$M_s = 8398 \cdot \frac{0,39}{2} \Rightarrow M_s = 1638 Nm$$

- **Moment klopný základní poloha**

$$M_k = Fh [Nm] \Rightarrow M_k = O_v h_z [Nm] \quad [23] \quad (5.50)$$

$$M_k = 881 \cdot 0,795 \Rightarrow M_k = 701 Nm$$

- **Moment klopný při max. výšce**

$$M_k = Fh [Nm] \Rightarrow M_k = O_v h_z [Nm] \quad [23] \quad (5.51)$$

$$M_k = 881 \cdot 1,69 \Rightarrow M_k = 1489 Nm$$

- **Míra bezpečnosti vůči překlopení**

$$\mu = \frac{M_s}{M_k} [-] \quad [23] \quad (5.52)$$

základní poloha;  $\mu = \frac{1638}{701} \Rightarrow \mu = 2,34[-]$

při max. výšce;  $\mu = \frac{1638}{1489} \Rightarrow \mu = 1,1[-]$

Nutná podmínka bezpečnosti:  $\mu > 1$  [23]


Výpočtem bylo zjištěno, že při obou polohách, je zatížení manipulátoru z hlediska stability proti převržení na straně bezpečnosti.

### 5.7.3 Podmínky provozu zařízení

Manipulační zařízení není dovoleno používat na jiné účely, než na jaké je navrženo. Manipulátor je určený na manipulaci s podvěsnou výzbrojí a výstrojí letadel, proto se zařízením může pracovat pouze osoba, která splňuje zákonné podmínky při manipulaci s tímto materiálem.

Maximální hmotnost břemene nesmí přesáhnout hodnotu 600 kg. Výsledná zatěžující síla od břemene se může pohybovat v rozmezí  $\pm 200$  mm od středu horního rámu. Dále boční plocha břemene nesmí přesáhnout rozměry na které je vypočítána stabilita vůči převrnutí manipulátoru a do rychlosti větru 25 m/s.

Při pohybu manipulátoru za tažným vozidlem, musí být zařízení vždy v základní poloze, bez ohledu na to, zda je taženo s břemenem, či bez břemene. Maximální úhel připojeného manipulačního oje od horizontální osy nesmí přesáhnout  $45^\circ$ .

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 85
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

## 6 Závěr

Diplomová práce se zabývala konstrukčním návrhem zdvihacího a manipulačního zařízení určeného pro speciální leteckou podvěsnou výstroj a výzbroj. Řešení všech dílů a součástí bylo podřízeno zadaným hodnotám.

Manipulátor byl řešen jako souhrn jednotlivých funkčních dílů. Byly postupně vypracovány návrhy zdvihacího mechanismu, hlavního rámu manipulátoru, horního manipulačního rámu a hydraulického systému. Byly provedeny pevnostní výpočty namáhaných částí. Jednotlivé výpočty jsou počítány na extrémní zatěžující stavy, které by v reálném provozu neměly nastat, ale zcela nejde vyloučit působení lidského faktoru. Mobilita je zajištěna pojezdovými koly. Přední kola jsou otočně uložena. Uložení zaručuje dostatečnou manévrovatelnost. Manipulátor je navržen pro letecké poděsné příslušenství do hmotnosti 600 kg. Teleskopický přímočarý hydromotor je poháněn ručním hydraulickým čerpadlem.

V diplomové práci byla navržena jiná funkční konstrukční koncepce zdvihacího zařízení, než se v současné době při výrobě manipulačních vozíků používá. Výhodou takového řešení je, že pokud je výsledná zatěžující síla od břemene v povolené toleranci, sílu od břemene na nosný rám přenáší teleskopický přímočarý hydromotor. Samotný pákový zdvihací mechanismus je zatěžován minimálně.

## 7 Seznam zkratek

a	Poloviční délka horního rámu	[ m ]
b	Vzdálenost působení tíhové síly od břemena, str. 34	[ m ]
b	Šířka U profilu, str.51	[ m ]
b/2	Vzdálenost ke klopné hraně, str. 83	[ m ]
b/2	Poloviční šířka ramene I profilu,	[ m ]
B	Šířka I profilu	[ m ]
d	Průměr roztečné kružnice ozubeného kola, str. 47	[ m ]
d	Průměr díry pro osu na kolo PS 315/25-75K, str. 57	[ m ]
d	Průměr osy kola, str. 59, 60	[ m ]
d	Průměr pístnice hydromotoru, str. 66	[ m ]
d	Nejmenší průměr pístnice hydromotoru	[ m ]
d <sub>1</sub>	Průměr oka pro čep hydromotoru, str. 66	[ m ]
d <sub>1</sub>	Střední průměr osy předního kola	[ m ]
d <sub>2</sub>	Maximální průměr osy předního kola	[ m ]
d <sub>a</sub>	Průměr hlavové kružnice ozubeného kola	[ m ]
d <sub>b</sub>	Průměr základní kružnice ozubeného kola	[ m ]
d <sub>f</sub>	Průměr hlavové kružnice ozubeného kola	[ m ]
d <sub>k</sub>	Průměr osy na konzole kola	[ m ]
d <sub>n</sub>	Maximální průměr přídavné palivové nádrže	[ m ]
d <sub>S</sub>	Průměr šroubu, čepu, osy	[ m ]
d <sub>u</sub>	Průměr uchycení kola	[ m ]
D	Vnitřní průměr hydromotoru, str. 66	[ m ]
D	Průměr kola PS 315/25-75K	[ m ]
D <sub>1</sub>	Vnější průměr hydromotoru, str. 66	[ m ]
e <sub>x</sub> ;e <sub>y</sub>	Délka vlákna těžiště	[ m ]
E	Modul pružnost v tahu	[ MPa ]
f <sub>v</sub>	Koeficient tření	[ - ]
F	Síla	[ N ]
F <sub>1</sub>	Poloviční tíhová síla od břemene	[ N ]
F <sub>Ax</sub>	Reakce na vnější zatížení	[ N ]

$F_{Az}$	Reakce na vnější zatížení	[ N ]
$F_{Bz}$	Reakce na vnější zatížení	[ N ]
$F_{Cz}$	Reakce na vnější zatížení	[ N ]
$F_d$	Dynamická třecí síla	[ N ]
$F_G$	Tíhová síla břemene	[ N ]
$F_{hr}$	Tíhová síla horního rámu	[ N ]
$F_{hm}$	Tíhová síla hydromotoru	[ N ]
$F_{kr}$	Maximální povolená síla při vzpěru	[ N ]
$F_{max}$	Maximální tíhová síla	[ N ]
$F_{pis}$	Maximální působící síla na pístnici hydromotoru	[ N ]
$F_{př}$	Přítlačná síla	[ N ]
$F_{tah}$	Tahová síla	[ N ]
$F_{Tmax}$	Maximální tahová síla	[ N ]
$\sum F_x$	Suma všech sil působících v ose x	[ N ]
$\sum F_z$	Suma všech sil působících v ose z	[ N ]
$g$	Tíhové zrychlení	[ ms <sup>-2</sup> ]
$h$	Výška průřezu	[ m ]
$h$	Výška mezi rameny I profilu, str. 48	[ m ]
$h$	Délka vysunutí pístnice hydromotoru, str. 66	[ m ]
$h_a$	Výška hlavy zubu	[ m ]
$h_f$	Výška paty zubu	[ m ]
$h_z$	Výška působení vnější síly	[ m ]
$H$	Výška I profilu	[ m ]
$i$	Stupeň volnosti mechanismu, str. 33	[ - ]
$i$	Poloměr setrvačnosti	[ m <sup>2</sup> ]
$i_v$	Počet stupňů volnosti v rovině	[ - ]
$I_{min}$	Nejmenší kvadratický moment průřezu	[ m <sup>4</sup> ]
$I_x$	Kvadratický moment průřezu	[ m <sup>4</sup> ]
$I_{x_1}$	Moment setrvačnosti k ose ohybu x	[ m <sup>4</sup> ]
$I_{y_1}$	Moment setrvačnosti k ose ohybu y	[ m <sup>4</sup> ]
$k_v$	Koeficient bezpečnosti	[ - ]

$l$	Vzdálenost	[ m ]
$l_1$	Délka osy předního otočného uzlu	[ m ]
$l_0$	Redukovaná délka prutu pro výpočet vzpěru	[ m ]
$l_2$	Celková délka manipulačního oje	[ m ]
$l_3$	Délka hlavní trubky manipulačního oje	[ m ]
$l_4$	Délka vysunutí přímočarého hydromotoru	[ m ]
$l_5$	Osová délka páky zdvihacího mechanismu	[ m ]
$l_6$	Délka nejmenšího průměru osy předního kola	[ m ]
$l_7$	Vzdálenost pro výpočet ohybového momentu středního průměru osy	[ m ]
$l_8$	Poloviční vzdálenost osy předního kola	[ m ]
$l_9$	Maximální délka teleskopického hydromotoru	[ m ]
$l_{10}$	Minimální délka vysunutí teleskopického hydromotoru	[ m ]
$l_k$	Vzdálenost ke klopné hraně od těžiště	[ m ]
$l_n$	Délka přídavné palivové nádrže	[ m ]
$L_1$	Délka nosníku uchycení hydromotoru	[ m ]
$L_1$	Délka od středu díry čepu pístnice k válci, zasunutá poloha, str. 66	[ m ]
$m$	Maximální hmotnost břemene	[ kg ]
$m$	Modul ozubeného kola, str. 47	[ m ]
$m_M$	Celková hmotnost manipulátoru	[ kg ]
$m_{hr}$	Hmotnost horního rámu	[ kg ]
$m_{hm}$	Hmotnost teleskopického hydromotoru i s olejem	[ kg ]
$\sum m_i$	Suma všech hmotností	[ kg ]
$\sum M_{Ao}$	Výsledný moment působící k bodu A	[ Nm ]
$M_k$	Klopný moment	[ Nm ]
$M_O$	Moment ohybový	[ Nm ]
$M_{Omax}$	Maximální ohybový moment	[ Nm ]
$M_S$	Stabilizující moment	[ Nm ]
$n$	Počet těles	[ - ]
$N$	Normálová síla	[ N ]
$N_{(x)}$	Normálová síla v řezu x	[ N ]
$NP\{..\}$	Neznámé nezávislé parametry	[ - ]



o	Obecná kinematická dvojice	[ - ]
$O_v$	Odporová síla	[ N ]
p	Tlak	[ MPa ]
$p_D$	Tlak dovolený	[ Pa ]
PPN	Přídavná palivová nádrž	
Q	Tíha	[ N ]
r	rotační kinematická dvojice	[ - ]
$R_{x,y,z}$	Silové reakce ve vazbě v ose x, y, z	[ N ]
s	Tloušťka stojiny, str. 51	[ m ]
S	Obsah průřezové plochy	[ m <sup>2</sup> ]
$S_1$	Průřezová plocha U profilu	[ m <sup>2</sup> ]
$S_{min}$	Nejmenší dotyková vzdálenost	[ m ]
$S_o$	Obsah průřezové plochy trubky	[ m <sup>2</sup> ]
$S_p$	Nejmenší průřezová plocha teleskopického hydromotoru	[ m <sup>2</sup> ]
$S_x$	Největší povolená boční plocha břemene	[ m <sup>2</sup> ]
t	Tloušťka příruby	[ m ]
$T_{(x)}$	Síla posouvající v řezu x	[ N ]
TR	Označení trubky	[ - ]
T1	Šířka kola PS 315/25-75K	[ m ]
T2	Délka náboje kola PS 315/25-75K	[ m ]
USAF	United States Air Force , Letectvo Spojených států amerických	
v	Poloviční výška pákového mechanismu	[ m ]
$v_r$	Náporová rychlost	[ m.s <sup>-1</sup> ]
$W_o$	Průřezový modul v ohybu	[ m <sup>3</sup> ]
$W_{o_{I,II,III}}$	Průřezové moduly v ohybu osy předního kola	[ m <sup>3</sup> ]
$W_x$	Průřezový modul v ohybu k ose x	[ m <sup>3</sup> ]
$W_y$	Průřezový modul v ohybu k ose y	[ m <sup>3</sup> ]
x	Vzdálenost k řezu	[ m ]
z	Počet zubů ozubeného kola	[ - ]
$\alpha$	Úhel mezi osou páky a svislou osou ok uchycení pák	[ ° ]
$\gamma$	Úhel páky zdvihu k vodorovné ose hydromotoru	[ ° ]

$\lambda$	Štíhlost prutu	[ - ]
$\mu$	Míra bezpečnost proti převržení	[ - ]
$\pi$	číslo pí	[ - ]
$\varphi$	Úhel sklonu manipulačního oje	[ ° ]
$\sigma_1$	Napětí v ohybu	[ MPa ]
$\sigma_2$	Napětí v ohybu na nejmenším průměru osy předního kola	[ MPa ]
$\sigma_3$	Napětí v ohybu na středním průměru osy předního kola	[ MPa ]
$\sigma_4$	Napětí v ohybu na největším průměru osy předního kola	[ MPa ]
$\sigma_D$	Dovolené napětí v tlaku	[ MPa ]
$\sigma_{dov}$	Dovolené napětí	[ MPa ]
$\sigma_{kr}$	Kritické napětí	[ MPa ]
$\sigma_T$	Tahové napětí	[ MPa ]
$\tau$	Smykové napětí	[ MPa ]
$\tau_{Ds}$	Dovolené napětí ve smyku	[ MPa ]
$\xi$	Počet stupňů volnosti odebraných vazbami	[ - ]


## 8 Seznam použitých zdrojů

### Použitá literatura

- [ 1 ] FLORIAN, Zdeněk, Emanuel ONDRÁČEK a Karel PŘIKRYL. *Mechanika těles: statika*. Vyd. 7. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007, 182 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 978-80-214-3440-0.
- [ 2 ] JANÍČEK, Přemysl, Emanuel ONDRÁČEK a Karel PŘIKRYL. *Mechanika těles: úlohy z pružnosti a pevnosti*. 4. přeprac. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 170 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-2655-1.
- [ 3 ] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 4., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2008, 914 s. ISBN 978-80-7361-051-7.
- [ 4 ] KŘÍŽ, Rudolf, Emanuel ONDRÁČEK a Karel PŘIKRYL. *Strojírenská příručka 3. svazek: H- Mechanika tuhých těles, I- Pružnost a pevnost, J- Materiál a jeho zkoušení*. 1. vyd. Praha: Scientia, 1993, 254 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-858-2723-9.
- [ 5 ] KŘÍŽ, Rudolf, Emanuel ONDRÁČEK a Karel PŘIKRYL. *Strojírenská příručka: 24 oddílů v osmi svazcích. Svazek 5, O - Technika konstruování ; P – Technická dokumentace ; R - Části strojů a převody (1. část)*. 1. vyd. Praha: Scientia, 1994, 241 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-858-2759-X.
- [ 6 ] JANÍČEK, Přemysl, Emanuel ONDRÁČEK, Jan VRBKA, J BURŠA. *Mechanika těles: pružnost a pevnost*. 3. přeprac. vyd. Brno: CERM, 2004, 287 s. ISBN 80-214-2592-X.
- [ 7 ] ŠKOPÁN, Miroslav, *Hydraulické pohony strojů: studijní text , syllabus*, Brno 2004
- [ 8 ] SKAŘUPA, Jiří. *Metodika konstruování: Konstrukční cvičení*. 1. vyd. Ostrava: VŠB, 1994, 122 s. ISBN 80-707-8233-1.

### Odkazy na www

- [ 9 ] Sortimentní katalog Feron. [online], [28.března 2012], dostupný na [www: http://www.ferona.cz/cze/katalog/search.php](http://www.ferona.cz/cze/katalog/search.php)
- [ 10 ] Katalog firmy Blickle® kola+kladky, [online]. [cit. 2012-03-28] dostupný na [www: http://www.blickle.cz/produkty.html](http://www.blickle.cz/produkty.html)

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 92
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

- [ 11 ] Electric Forklift Trucks. [online]. [cit. 2012-03-28] Dostupné z:  
<http://www.tpub.com/aviord321/90.htm>
- [ 12 ] Electric Forklift Trucks. [online]. [cit. 2012-03-28] Dostupné z:  
<http://www.tpub.com/aviord321/91.htm>
- [ 13 ] Trailers. [online]. [cit. 2012-05-12]. Dostupné z:  
<http://www.tpub.com/aviord321/92.htm>
- [ 14 ] Trailers. [online]. [cit. 2012-03-28] Dostupné z:  
<http://www.tpub.com/aviord321/93.htm>,
- [ 15 ] Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechaniky.[online]. [cit. 2012-03-28], dostupné na:  
[http://www.337.vsb.cz/materialy/dynamika\\_zaklady\\_mechaniky\\_Jirka\\_e\\_learning/index.htm](http://www.337.vsb.cz/materialy/dynamika_zaklady_mechaniky_Jirka_e_learning/index.htm)
- [ 16 ] Výrobní katalog přímočarých motorů Hydraulice. [online]. [cit. 2012-03-28]  
dostupný na [www](http://www.hydraulics.cz/cz/vyroba/vyroba-katalogovych-hydromotoru/zh1):  
<http://www.hydraulics.cz/cz/vyroba/vyroba-katalogovych-hydromotoru/zh1>
- [ 17 ] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Letadlo>
- [ 18 ] [http://www.hill.af.mil/news/story\\_print.asp?id=123165792](http://www.hill.af.mil/news/story_print.asp?id=123165792), [online]. [cit. 2012-05-06]
- [ 19 ] <http://www.defence.gov.au/jlc/Documents/Cleaning%20Manual/40.pdf>,  
[online]. [cit. 2012-03-28]
- [ 20 ] <http://www.profo.cz/ravaglioli-rav-540-2763.html>, [online]. [cit. 2012-05-06]
- [ 21 ] <http://www.trans-technik.cz/cerpadlo-rucni-pmi-45-7lt-0734047-007>,  
[online]. [cit. 2012-05-06]
- [ 22 ] Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechaniky, Technická mechanika.[online]. [cit. 2012-01-27], dostupné na:  
[http://www.337.vsb.cz/materialy/Technicka\\_mechanika\\_Ondrouch/TM\\_E\\_KOMPLET.pdf](http://www.337.vsb.cz/materialy/Technicka_mechanika_Ondrouch/TM_E_KOMPLET.pdf)
- [ 23 ] Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechaniky, Technická mechanika, [online]. [cit. 2012-01-27], dostupné na:  
[http://www.337.vsb.cz/materialy/Milada\\_statika\\_1st/links/kapitoly/15/stability.htm](http://www.337.vsb.cz/materialy/Milada_statika_1st/links/kapitoly/15/stability.htm)
- [ 24 ] BLAŽÁK, Ondřej, prezentace jízdní odpory.ppt, [cit. 2009-03-08]

## 9 Seznam obrázků

Obr. 1 Nakladač A/S 32K-1A/1B/1C SATS .....	17
Obr. 2 Nakladač Aero 47A .....	18
Obr. 3 Vysokozdvíhový nakladač MHU-83 D/E.....	19
Obr. 4 Vysokozdvíhový nakladač MHU-83 D/E při podvěšování munice na závěsník.....	20
Obr. 5 Vysokozdvíhový vozík 5 MJ-1 .....	20
Obr. 6 Vysokozdvíhový vozík MJ-1 při činnosti.....	21
Obr. 7 Vysokozdvíhový vozík SOVAM.....	22
Obr. 8 Nakládací vozík Aero 33D/E .....	23
Obr. 9 Manipulační vozík Mk 7 Mods 3, 4, 5 .....	24
Obr. 10 Manipulační vozík MJ-3.....	25
Obr. 11 Manipulační vozík MJ-3 s jeřábkem .....	26
Obr. 12 Vozík v základní poloze.....	26
Obr. 13 Vozík v poloze maximálního zdvihu.....	26
Obr. 14 Nůžkový mechanismus.....	28
Obr. 15 Varianty uložení motoru .....	29
Obr. 16 Vícenásobná nůžková zdviž .....	30
Obr. 17 Manipulátor s ramenem.....	31
Obr. 18 Schéma paralelogramu.....	32
Obr. 19 Ozubené soukolí .....	32
Obr. 20 Zvedací zařízení se šroubovým mechanismem .....	32
Obr. 21 Kinematické schéma manipulátoru .....	33
Obr. 22 Výpočtový model horního rámu.....	34
Obr. 23 Nahrazení vazeb silovými účinky.....	34
Obr. 24 Rozdělení výpočtového modelu na intervaly .....	37
Obr. 25 Řez I.....	37
Obr. 26 Řez II .....	38
Obr. 27 Řez III .....	38
Obr. 28 Výsledné VVÚ na modelu horního rámu .....	40
Obr. 29 Horní rám.....	41
Obr. 30 Horní rám v částečném řezu .....	41
Obr. 31 Výpočtový 3D model.....	42

Obr. 32 Pákový mechanismus v horní poloze .....	46
Obr. 33 Tvar zubů kola.....	47
Obr. 34 Páka s ozubeným kolem .....	48
Obr. 35 Profil páky .....	48
Obr. 36 Nosný rám manipulátoru .....	50
Obr. 37 Výpočtový 3D model hlavního nosného rámu .....	50
Obr. 38 U tyč DIN 1026-1 .....	51
Obr. 39 varianta s dvojnásobnou symetrií –postavení otevřené .....	52
Obr. 40 Bokorys nosníku uchycení hydraulického válce .....	53
Obr. 41 Vnitřní plocha profilu .....	54
Obr. 42 Vnější plocha profilu .....	54
Obr. 43 Vnitřní plocha profilu .....	55
Obr. 44 Vnější plocha profilu .....	55
Obr. 45 Vnitřní plocha profilu .....	56
Obr. 46 Vnější plocha profilu .....	56
Obr. 47 Kolo PS 315/25-75K .....	57
Obr. 48 Řez kola PS 315/25-75K .....	57
Obr. 49 Detail přední části rámu s otočným uzlem .....	58
Obr. 50 3D model předního otočného uzlu .....	58
Obr. 51 Řez otočným uzlem .....	58
Obr. 52 Průběh momentů a napětí na přední ose .....	59
Obr. 53 Síly působící na manipulátor při vlečení .....	61
Obr. 54 Manipulační oje .....	63
Obr. 55 Schéma zapojení hydraulického systému .....	65
Obr. 56 Hydromotor ZH 1 .....	66
Obr. 57 Ruční hydraulické čerpadlo PMS - 25 .....	67
Obr. 58 Uchycení teleskopického přímočarého hydromotoru .....	70
Obr. 59 Uchycení manipulačního oje .....	71
Obr. 60 Čep uchycení páky v konzole rámu .....	72
Obr. 61 Manipulační rám v základní poloze .....	73
Obr. 62 Profil nosníku uchycení hydromotoru .....	74
Obr. 63 Manipulační rám při maximálním vysunutí pístnice hydromotoru .....	77
Obr. 64 Řez uchycení pístnice hydromotoru .....	79

Obr. 65 Uložení předního kola .....	80
Obr. 66 Uložení zadního kola .....	81
Obr. 67 Manipulátor s břemenem .....	82
Obr. 68 Pohled shora .....	83

## 10 Seznam tabulek

Tab. 1 Tabulka vypočítaných sil ve vazbách .....	36
Tab. 2 Tabulka vypočítaných výsledných vnitřních účinků .....	39
Tab. 3 Tabulka vypočítaných výsledných reakcí $R_x$ při min. zdvihu .....	42
Tab. 4 Tabulka vypočítaných výsledných reakcí $R_x$ při max. zdvihu .....	43
Tab. 5 Tabulka vypočítaných výsledných reakcí $R_z$ při min. zdvihu .....	44
Tab. 6 Tabulka vypočítaných výsledných reakcí $R_z$ při max. zdvihu .....	44
Tab. 7 Tabulka vypočítaných výsledných sil při posuvu pístnice hydromotoru .....	78

## 11 Seznam grafů

Graf 1. Výsledné reakce a moment při posuvu zatěžující síly .....	36
Graf 2. Výsledné reakce v ose x při posuvu tíhové síly břemene při min.zdvihu .....	43
Graf 3. Výsledné reakce v ose x při posuvu tíhové síly břemene při max.zdvihu .....	44
Graf 4. Výsledné reakce v ose z, při posuvu tíhové síly břemene při min.zdvihu .....	45
Graf 5. Výsledné reakce v ose z, při posuvu tíhové síly břemene při min.zdvihu .....	45
Graf 6. Hodnota kritické síly při vysouvání pístnice .....	70
Graf 7. Hodnota kritické síly při vysouvání pístnice .....	78

## 12 Seznam příloh

Příloha 1	Reakce v podporách, hodnoty v uzlech v maximálním zdvihu
Příloha 2	Reakce v podporách, hodnoty v uzlech v základní poloze
Příloha 3	Rám – reakce v podporách, hodnoty v uzlech v základní poloze
Příloha 4	Rám – napětí v prutech, extrém prutu
Příloha 5	Výsledky výpočtu ozubeného kola
Příloha 6	VVÚ na prutech zdvihového mechanismu, globální extrém prutu
Příloha 7	Katalogový list PS 315/25-75K
Příloha 8	Zdvihací a manipulační zařízení v 3D

## 13 Seznam výkresové dokumentace

ZDVIHACÍ A MANIPULAČNÍ ZAŘÍZENÍ	0-M25-01
OSA KOLA	3-M25-01/01-1
KONZOLA UCHYCENÍ PÁKY	4-M25-01/01-2
OZUBENÉ KOLO	3-M25-01/02-1







## Příloha 1

Reakce v podporách , hodnoty v uzlech v maximálním zdvihu

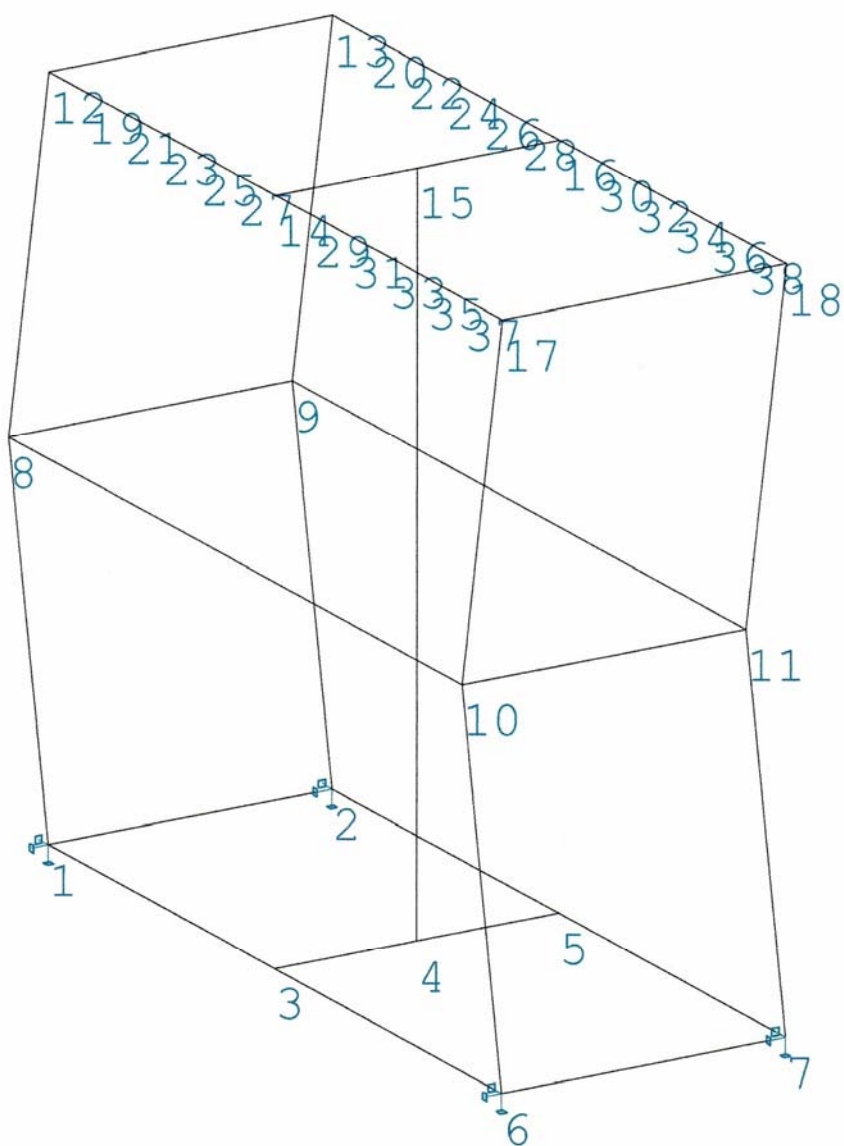
Program : Nexis32 release 3.30.08

Projekt : 3D horní poloha

Popis :

Autor : Vladimír Kaše

---



Vnitřní síly -  $M_y$  na prutu(ech). Zat. stav(y) : 1

---

## Reakce v podporách – hodnoty v uzlech

Lineárně statický – nebezpečné nebo všechny kombinace

Skupina uzlů : 1/38

Skupina zatěžovacích stavů: 1

Vzdálenost 0 mm:

podpora	uzel	stav	Rx [N]	Ry [N]	Rz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
1	1	1	-252.185	-1.062	2817.427	1.100	65.970	-0.302
2	2		-252.185	1.062	2817.427	-1.100	65.970	0.302
3	6		252.185	1.751	125.573	1.100	84.717	-0.302
4	7		252.185	-1.751	125.573	-1.100	84.717	0.302

Vzdálenost 100 mm:

podpora	uzel	stav	Rx [N]	Ry [N]	Rz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
1	1	1	-261.359	-2.105	2582.438	5.169	11.428	-0.837
2	2		-261.359	2.105	2582.438	-5.169	11.428	0.837
3	6		261.359	5.249	360.562	5.169	126.946	-0.837
4	7		261.359	-5.249	360.562	-5.169	126.946	0.837

Vzdálenost 200 mm:

podpora	uzel	stav	Rx [N]	Ry [N]	Rz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
1	1	1	-252.324	-2.120	2347.971	10.038	-47.852	-1.227
2	2		-252.324	2.120	2347.971	-10.038	-47.852	1.227
3	6		252.324	8.160	595.029	10.038	173.287	-1.227
4	7		252.324	-8.160	595.029	-10.038	173.287	1.227

Vzdálenost 300 mm:

podpora	uzel	stav	Rx [N]	Ry [N]	Rz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
1	1	1	-228.711	-1.204	2113.654	15.000	-105.577	-1.436
2	2		-228.711	1.204	2113.654	-15.000	-105.577	1.436
3	6		228.711	10.168	829.346	15.000	217.893	-1.436
4	7		228.711	-10.168	829.346	-15.000	217.893	1.436

Vzdálenost 400 mm:

podpora	uzel	stav	Rx [N]	Ry [N]	Rz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
1	1	1	-194.150	0.544	1879.114	19.350	-155.456	-1.428
2	2		-194.150	-0.544	1879.114	-19.350	-155.456	1.428
3	6		194.150	10.951	1063.886	19.350	254.919	-1.428
4	7		194.150	-10.951	1063.886	-19.350	254.919	1.428

Vzdálenost 500 mm:

podpora	uzel	stav	Rx [N]	Ry [N]	Rz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
1	1	1	-152.272	3.027	1643.979	22.382	-191.195	-1.167
2	2		-152.272	-3.027	1643.979	-22.382	-191.195	1.167
3	6		152.272	10.193	1299.021	22.382	278.520	-1.167
4	7		152.272	-10.193	1299.021	-22.382	278.520	1.167

Vzdálenost 600 mm:

podpora	uzel	stav	Rx [N]	Ry [N]	Rz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
1	1	1	-106.706	6.145	1407.876	23.389	-206.502	-0.616
2	2		-106.706	-6.145	1407.876	-23.389	-206.502	0.616
3	6		106.706	7.573	1535.124	23.389	282.850	-0.616
4	7		106.706	-7.573	1535.124	-23.389	282.850	0.616

Vzdálenost 700 mm:

podpora	uzel	stav	Rx [N]	Ry [N]	Rz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
1	1	1	-59.591	8.450	1164.788	21.881	-193.579	-0.030
2	2		-59.591	-8.450	1164.788	-21.881	-193.579	0.030
3	6		59.591	4.297	1778.212	21.882	267.333	-0.030
4	7		59.591	-4.297	1778.212	-21.882	267.333	0.030

Vzdálenost 800 mm:

podpora	uzel	stav	Rx [N]	Ry [N]	Rz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
1	1	1	-8.238	8.828	911.574	18.403	-155.254	0.323
2	2		-8.238	-8.828	911.574	-18.403	-155.254	-0.323
3	6		8.238	1.838	2031.426	18.403	238.566	0.323
4	7		8.238	-1.838	2031.426	-18.403	238.566	-0.323

Vzdálenost 900 mm:

podpora	uzel	stav	Rx [N]	Ry [N]	Rz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
1	1	1	50.812	7.671	652.086	13.769	-100.845	0.457
2	2		50.812	-7.671	652.086	-13.769	-100.845	-0.457
3	6		-50.812	0.274	2290.914	13.769	201.242	0.457
4	7		-50.812	-0.274	2290.914	-13.769	201.242	-0.457

Vzdálenost 1000 mm:

podpora	uzel	stav	Rx [N]	Ry [N]	Rz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
1	1	1	121.019	5.375	390.180	8.796	-39.671	0.388
2	2		121.019	-5.375	390.180	-8.796	-39.671	-0.388
3	6		-121.019	-0.314	2552.820	8.796	160.055	0.388
4	7		-121.019	0.314	2552.820	-8.796	160.055	-0.388

Vzdálenost 1100 mm:

podpora	uzel	stav	Rx [N]	Ry [N]	Rz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
1	1	1	205.843	2.332	129.709	4.299	18.951	0.130
2	2		205.843	-2.332	129.709	-4.299	18.951	-0.130
3	6		-205.843	0.151	2813.291	4.299	119.698	0.130
4	7		-205.843	-0.151	2813.291	-4.299	119.698	-0.130

Vzdálenost 1200 mm:

podpora	uzel	stav	Rx [N]	Ry [N]	Rz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
1	1	1	308.744	-1.062	-125.472	1.096	65.702	-0.302
2	2		308.744	1.062	-125.472	-1.096	65.702	0.302
3	6		-308.744	1.748	3068.472	1.095	84.865	-0.302
4	7		-308.744	-1.748	3068.472	-1.095	84.865	0.302

## Příloha č. 2

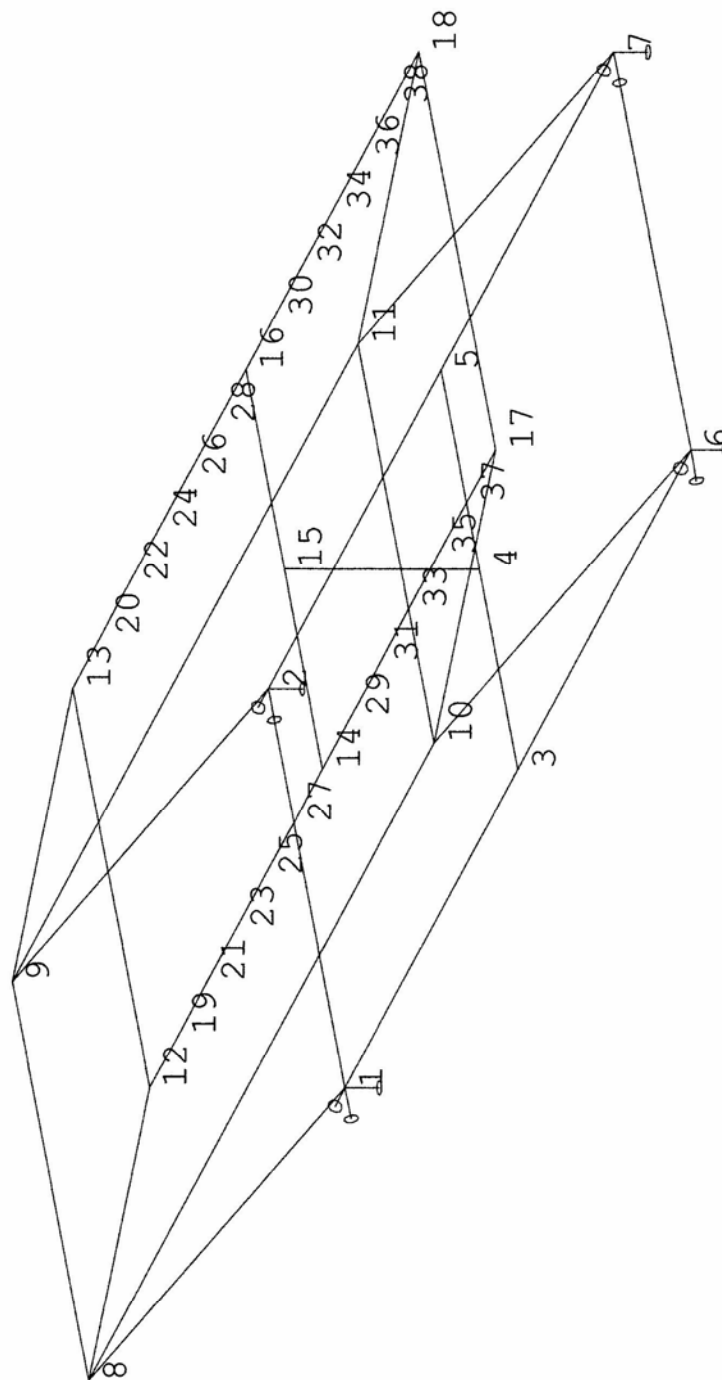
Reakce v podporách , hodnoty v uzlech v základní poloze

Program : Nexis32 release 3.30.08

Projekt : Dolní poloha mechanismu

Popis :

Autor : Vladimír Kaše



Vnitřní síly - My na prutu(ech). Zat. stav(y) : 1

## Reakce v podporách – hodnoty v uzlech

Lineárně statický – nebezpečné nebo všechny kombinace

Skupina uzlů : 1/38

Skupina zatěžovacích stavů: 1

Vzdálenost 0 mm:

podpora	uzel	stav	Rx [N]	Ry [N]	Rz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
1	1	1	-4016.429	6.465	2943.000	-0.000	0.000	-0.000
2	2		-4016.429	-6.465	2943.000	0.000	0.000	0.000
3	6		4016.429	2.905	-0.000	-0.000	-0.000	0.000
4	7		4016.429	-2.905	-0.000	0.000	-0.000	0.000

Vzdálenost 100 mm:

podpora	uzel	stav	Rx [N]	Ry [N]	Rz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
1	1	1	-2834.291	-8.854	2697.750	-0.000	0.000	0.000
2	2		-2834.291	8.854	2697.750	0.000	0.000	-0.000
3	6		2834.291	13.318	245.250	-0.000	-0.000	-0.000
4	7		2834.291	-13.318	245.250	-0.000	0.000	0.000

Vzdálenost 200 mm:

podpora	uzel	stav	Rx [N]	Ry [N]	Rz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
1	1	1	-1581.438	-18.730	2452.500	-0.000	0.000	0.000
2	2		-1581.438	18.730	2452.500	-0.000	0.000	-0.000
3	6		1581.438	20.354	490.500	-0.000	-0.000	0.000
4	7		1581.438	-20.354	490.500	-0.000	-0.000	0.000

Vzdálenost 300 mm:

podpora	uzel	stav	Rx [N]	Ry [N]	Rz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
1	1	1	-283.462	-22.468	2207.250	0.000	0.000	-0.000
2	2		-283.462	22.468	2207.250	-0.000	-0.000	-0.000
3	6		283.462	23.501	735.750	-0.000	-0.000	0.000
4	7		283.462	-23.501	735.750	0.000	-0.000	-0.000

Vzdálenost 400 mm:

podpora	uzel	stav	Rx [N]	Ry [N]	Rz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
1	1	1	1034.047	-19.371	1962.000	-0.000	0.000	-0.000
2	2		1034.047	19.371	1962.000	-0.000	0.000	-0.000
3	6		-1034.047	22.245	981.000	-0.000	-0.000	0.000
4	7		-1034.047	-22.245	981.000	-0.000	-0.000	0.000



Vzdálenost 500 mm:

podpora	uzel	stav	Rx [N]	Ry [N]	Rz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
1	1	1	2345.500	-8.743	1716.750	-0.000	0.000	-0.000
2	2		2345.500	8.743	1716.750	-0.000	-0.000	0.000
3	6		-2345.500	16.073	1226.250	-0.000	-0.000	0.000
4	7		-2345.500	-16.073	1226.250	0.000	-0.000	-0.000

Vzdálenost 600 mm:

podpora	uzel	stav	Rx [N]	Ry [N]	Rz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
1	1	1	3625.307	10.111	1471.500	-0.000	0.000	-0.000
2	2		3625.307	-10.111	1471.500	-0.000	-0.000	-0.000
3	6		-3625.307	4.472	1471.500	-0.000	-0.000	0.000
4	7		-3625.307	-4.472	1471.500	0.000	-0.000	-0.000

Vzdálenost 700 mm:

podpora	uzel	stav	Rx [N]	Ry [N]	Rz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
1	1	1	4885.623	28.552	1226.250	0.000	0.000	0.000
2	2		4885.623	-28.552	1226.250	-0.000	-0.000	-0.000
3	6		-4885.623	-7.318	1716.750	-0.000	-0.000	0.000
4	7		-4885.623	7.318	1716.750	-0.000	-0.000	-0.000

Vzdálenost 800 mm:

podpora	uzel	stav	Rx [N]	Ry [N]	Rz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
1	1	1	6165.296	38.113	981.000	0.000	0.000	0.000
2	2		6165.296	-38.113	981.000	0.000	0.000	-0.000
3	6		-6165.296	-13.981	1962.000	-0.000	-0.000	0.000
4	7		-6165.296	13.981	1962.000	-0.000	-0.000	0.000

Vzdálenost 900 mm:

podpora	uzel	stav	Rx [N]	Ry [N]	Rz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
1	1	1	7477.950	39.753	735.750	-0.000	0.000	0.000
2	2		7477.950	-39.753	735.750	0.000	-0.000	-0.000
3	6		-7477.950	-15.917	2207.250	-0.000	-0.000	0.000
4	7		-7477.950	15.917	2207.250	0.000	-0.000	0.000

Vzdálenost 1000 mm:

podpora	uzel	stav	Rx [N]	Ry [N]	Rz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
1	1	1	8837.208	34.428	490.500	-0.000	0.000	-0.000
2	2		8837.208	-34.428	490.500	-0.000	-0.000	-0.000
3	6		-8837.208	-13.527	2452.500	-0.000	-0.000	-0.000
4	7		-8837.208	13.527	2452.500	0.000	0.000	0.000

Vzdálenost 1100 mm:

podpora	uzel	stav	Rx [N]	Ry [N]	Rz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
1	1	1	10256.693	23.095	245.250	-0.000	0.000	0.000
2	2		10256.693	-23.095	245.250	-0.000	0.000	-0.000
3	6		-10256.693	-7.214	2697.750	-0.000	-0.000	-0.000
4	7		-10256.693	7.214	2697.750	-0.000	-0.000	0.000

Vzdálenost 1200 mm:

podpora	uzel	stav	Rx [N]	Ry [N]	Rz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
1	1	1	11750.029	6.710	-0.000	-0.000	0.000	-0.000
2	2		11750.029	-6.710	-0.000	0.000	0.000	0.000
3	6		-11750.029	2.624	2943.000	-0.000	-0.000	-0.000
4	7		-11750.029	-2.624	2943.000	0.000	-0.000	-0.000

## Příloha 3

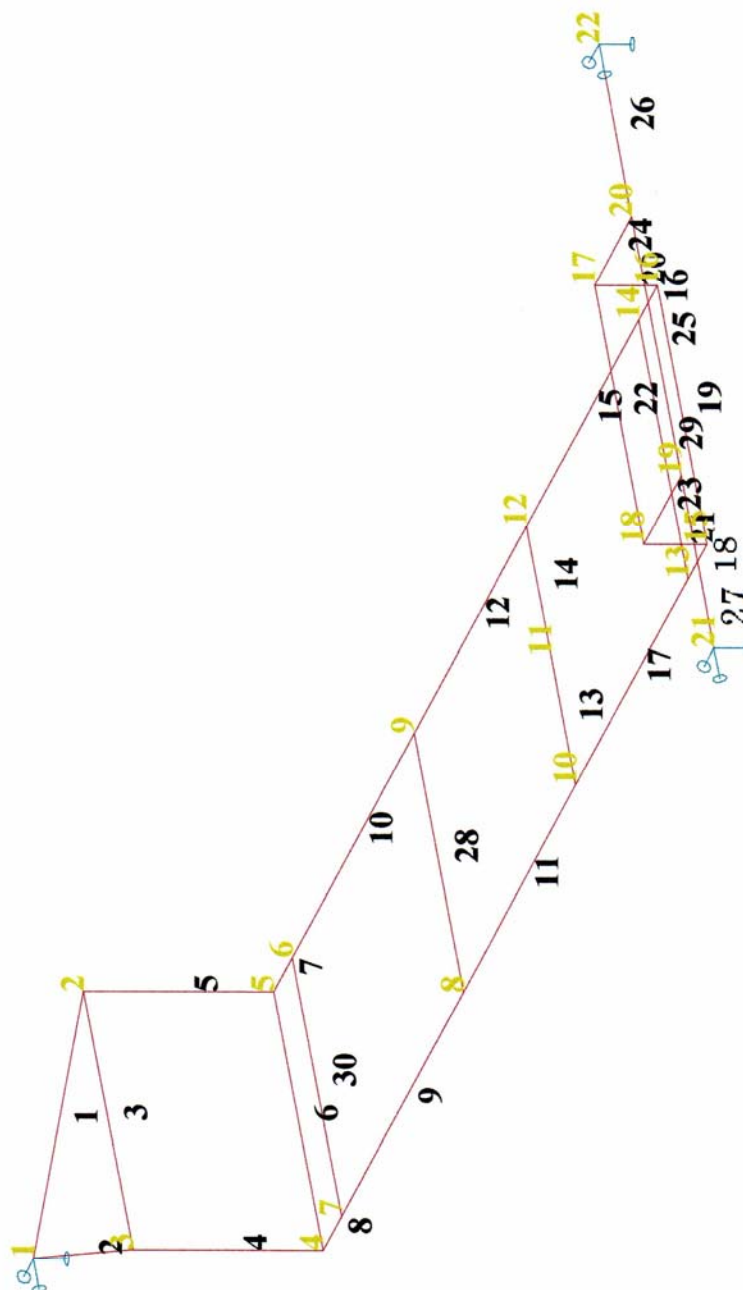
Rám - reakce v podporách , hodnoty v uzlech v základní poloze

Program : Nexis32 release 3.30.08

Projekt : Nový nosný rám

Popis :

Autor : Vladimír Kaše



Vnitřní síly na prutu(ech). Zat. stav(y) : 1

Uzly - žlutá barva

Pruty - černá barva

## Reakce v podporách – hodnoty v uzlech

Lineárně statický – nebezpečné nebo všechny kombinace

Skupina uzlů : 1/22

Skupina zatěžovacích stavů: 1, 2

Extrém č. 1

podpora	uzel	stav	Rx [N]	Ry [N]	Rz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
1	1	1	-8340.491	10.917	3961.169	0.000	0.000	0.000
		2	-664.900	0.846	413.873	0.000	0.000	-0.000
2	21	1	4197.797	-2139.270	960.336	0.000	-0.000	0.000
		2	334.584	-171.025	215.842	-0.000	-0.000	0.000
3	22	1	4142.694	2128.353	964.495	-0.000	-0.000	0.000
		2	330.316	170.180	214.819	0.000	0.000	0.000

Extrém č. 2

podpora	uzel	stav	Rx [N]	Ry [N]	Rz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
1	1	1	-3053.102	5.220	896.762	0.000	-0.000	0.000
		2	-664.900	0.846	413.873	0.000	0.000	-0.000
2	21	1	1539.724	-790.080	2493.625	-0.000	-0.000	0.000
		2	334.584	-171.025	215.842	-0.000	-0.000	0.000
3	22	1	1513.378	784.861	2495.613	0.000	-0.000	0.000
		2	330.316	170.180	214.819	0.000	0.000	0.000

Zatěžovací stav č.1 – zatížení na rám

Zatěžovací stav č.2 – působení vlastní hmotnosti rámu

## Příloha 4

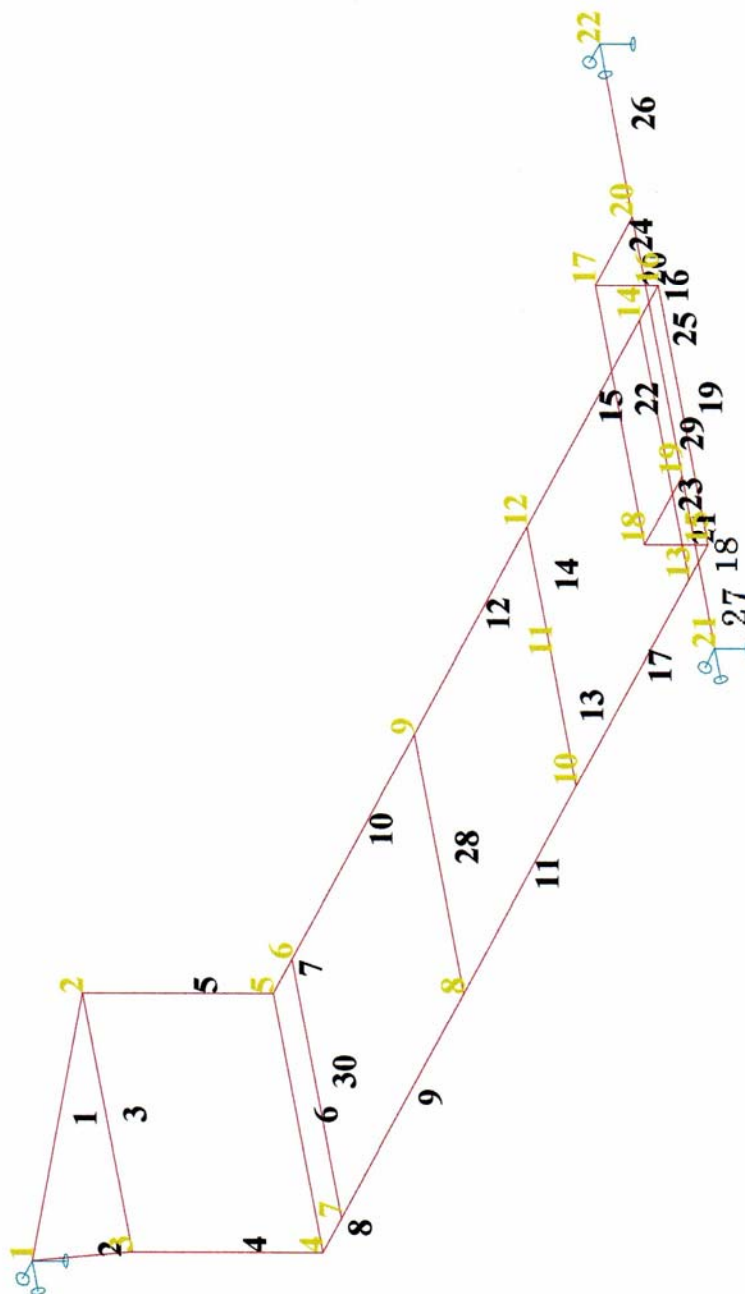
Rám - napětí v prutech, extrém prutu

Program : Nexis32 release 3.30.08

Projekt : Nový nosný rám

Popis :

Autor : Vladimír Kaše



Vnitřní síly na prutu(ech). Zat. stav(y) : 1

Uzly - žlutá barva  
Pruty - černá barva

## Prut – napětí. Extrém prutu

Lineárně statický – nebezpečné nebo všechny kombinace

Skupina uzlů : 1/30

Skupina zatěžovacích stavů: 1, 2

Extrém č. 1

prut	pr.č.	stav	dx mm	Norm. napětí - / + MPa	Smyk. napětí MPa	von Mises - / + MPa
1	3	1	458.9	<b>-63.144</b> <b>73.707</b>	12.335	<b>76.741</b>
1	3	1	0.0	-2.347 12.910	<b>12.335</b>	24.963
2	3	1	458.9	<b>-63.242</b> <b>73.853</b>	12.340	<b>76.884</b>
2	3	1	0.0	-2.338 12.949	<b>12.340</b>	24.990
3	3	1	0.0	<b>-8.678</b> <b>5.316</b>	0.019	<b>8.678</b>
3	3	2	0.0	-0.869 0.613	<b>0.041</b>	0.872
4	3	1	0.0	<b>-76.049</b> <b>80.457</b>	<b>10.538</b>	<b>82.502</b>
5	3	1	0.0	<b>-75.800</b> <b>80.194</b>	<b>10.498</b>	<b>82.229</b>
6	2	1	450.0	<b>-2.848</b> <b>1.447</b>	0.026	<b>2.849</b>
6	2	2	0.0	-0.219 0.097	<b>0.036</b>	0.228
7	2	1	0.0	<b>-20.210</b> <b>27.757</b>	<b>3.778</b>	<b>28.518</b>
8	2	1	0.0	<b>-20.502</b> <b>28.119</b>	<b>3.854</b>	<b>28.901</b>
9	2	1	650.0	<b>-50.152</b> <b>57.769</b>	3.853	<b>58.153</b>
9	2	1	0.0	-10.008 17.626	<b>3.853</b>	18.847
10	2	1	650.0	<b>-50.133</b> <b>57.680</b>	3.777	<b>58.050</b>
10	2	1	0.0	-9.882 17.430	<b>3.777</b>	18.617
11	2	1	0.0	<b>-46.406</b> <b>61.352</b>	<b>1.842</b>	<b>61.435</b>
12	2	1	0.0	<b>-46.537</b> <b>61.359</b>	<b>1.792</b>	<b>61.438</b>
13	5	2	225.0	<b>-0.265</b> <b>0.114</b>	0.002	<b>0.265</b>



prut	pr.č.	stav	dx mm	Norm. napětí - / + MPa	Smyk. napětí MPa	von Mises - / + MPa
13	5	1	0.0	-0.152 0.149	0.024	0.158
13	5	2	0.0	-0.061 0.126	0.049	0.151
14	5	1	225.0	-0.381 0.276	0.024	0.383
14	5	2	225.0	-0.090 0.152	0.050	0.175
15	2	1	0.0	-16.260 31.057	1.782	31.210
16	2	1	100.0	-9.374 16.876	2.038	17.241
16	2	1	0.0	-3.434 10.936	2.038	11.491
17	2	1	0.0	-16.113 31.084	1.835	31.246
18	2	1	100.0	-8.815 16.478	1.981	16.831
18	2	1	0.0	-3.004 10.667	1.981	11.205
19	2	1	450.0	-0.622 2.741	0.054	2.743
19	2	1	0.0	0.000 2.017	0.054	2.019
20	3	1	0.0	-19.144 21.327	13.038	31.062
21	3	1	100.0	-20.230 22.325	12.402	30.981
21	3	1	0.0	-18.373 20.467	12.402	29.671
22	3	1	0.0	-0.947 9.980	0.280	9.992
23	2	1	200.0	-57.986 65.450	15.421	70.690
23	2	1	0.0	-9.185 16.649	15.421	31.473
24	3	1	200.0	-68.475 77.887	15.844	82.580
24	3	1	0.0	-19.072 28.484	15.844	39.553
25	2	1	450.0	-34.158 28.986	0.737	34.182
25	2	1	0.0	-30.815 25.643	0.737	30.842
26	2	1	0.0	-89.375 93.245	10.370	94.959

prut	pr.č.	stav	dx mm	Norm. napětí - / + MPa	Smyk. napětí MPa	von Mises - / + MPa
27	2	1	0.0	<b>-90.408</b> <b>94.297</b>	<b>10.508</b>	<b>96.038</b>
28	2	1	0.0	<b>-0.381</b> <b>0.383</b>	<b>0.076</b>	<b>0.405</b>
29	2	1	450.0	<b>-0.807</b> <b>0.370</b>	0.019	<b>0.808</b>
29	2	2	450.0	-0.070 0.046	<b>0.039</b>	0.097
30	1	1	450.0	<b>-0.888</b> <b>0.000</b>	0.004	<b>0.888</b>
30	1	2	0.0	<b>-0.515</b> <b>0.419</b>	<b>0.040</b>	0.520



Extrém č. 2

prut	pr.č.	stav	dx mm	Norm. napětí - / + MPa	Smyk. napětí MPa	von Mises - / + MPa
1	3	1	458.9	<b>-13.610</b> <b>17.474</b>	2.788	<b>18.129</b>
1	3	1	0.0	0.000 3.761	<b>2.788</b>	6.121
2	3	1	458.9	<b>-13.657</b> <b>17.543</b>	2.790	<b>18.197</b>
2	3	1	0.0	0.000 3.779	<b>2.790</b>	6.135
3	3	1	0.0	<b>-2.347</b> <b>0.878</b>	0.009	<b>2.347</b>
3	3	2	0.0	-0.869 0.613	<b>0.041</b>	0.872
4	3	1	300.0	<b>-23.292</b> <b>24.292</b>	3.860	<b>25.195</b>
4	3	1	0.0	-17.272 18.272	<b>3.860</b>	19.456
5	3	1	300.0	<b>-23.092</b> <b>24.085</b>	3.841	<b>24.987</b>
5	3	1	0.0	-17.153 18.146	<b>3.841</b>	19.327
6	2	1	450.0	<b>-0.693</b> <b>0.372</b>	0.013	<b>0.693</b>
6	2	2	0.0	-0.219 0.097	<b>0.036</b>	0.228
7	2	1	0.0	<b>-13.206</b> <b>15.965</b>	<b>0.847</b>	<b>16.033</b>
8	2	1	0.0	<b>-13.325</b> <b>16.117</b>	<b>0.883</b>	<b>16.189</b>
9	2	1	0.0	<b>-10.938</b> <b>13.730</b>	<b>0.883</b>	<b>13.815</b>
10	2	1	0.0	<b>-10.871</b> <b>13.630</b>	<b>0.847</b>	<b>13.708</b>
11	2	1	600.0	<b>-19.468</b> <b>14.971</b>	0.844	<b>19.523</b>
11	2	1	0.0	-5.278 0.781	<b>0.844</b>	5.477
12	2	1	600.0	<b>-19.405</b> <b>14.849</b>	0.837	<b>19.459</b>

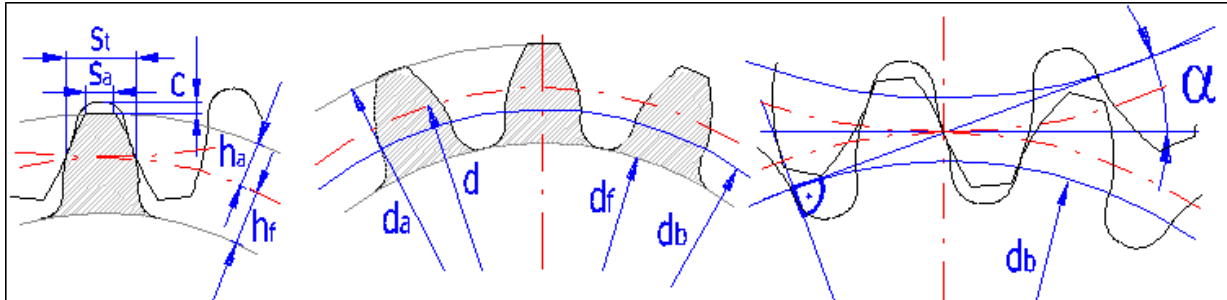
prut	pr.č.	stav	dx mm	Norm. napětí - / + MPa	Smyk. napětí MPa	von Mises - / + MPa
12	2	1	0.0	-5.344 0.788	<b>0.837</b>	5.537
13	5	2	225.0	-0.265 0.114	0.002	<b>0.265</b>
13	5	2	0.0	-0.061 0.126	<b>0.049</b>	0.151
14	5	2	0.0	-0.265 0.114	0.002	0.265
14	5	1	225.0	-0.264 0.186	0.017	<b>0.265</b>
14	5	2	225.0	-0.090 0.152	<b>0.050</b>	0.175
15	2	1	600.0	-33.548 28.979	0.821	<b>33.578</b>
15	2	1	0.0	-19.475 14.906	<b>0.821</b>	19.527
16	2	1	0.0	-29.904 32.634	<b>4.661</b>	<b>33.618</b>
17	2	1	600.0	-33.792 29.308	0.849	<b>33.824</b>
17	2	1	0.0	-19.441 14.957	<b>0.849</b>	19.497
18	2	1	0.0	-30.356 33.177	<b>4.745</b>	<b>34.180</b>
19	2	2	450.0	-0.007 0.323	0.044	0.332
19	2	1	0.0	0.000 2.145	<b>0.144</b>	<b>2.160</b>
20	3	1	100.0	-46.769 52.402	4.633	<b>53.013</b>
20	3	1	0.0	-25.083 30.716	<b>4.633</b>	31.747
21	3	1	100.0	-49.984 55.438	4.637	<b>56.017</b>
21	3	1	0.0	-27.617 33.072	<b>4.637</b>	34.033
22	3	1	450.0	-4.267 5.133	0.368	<b>5.173</b>
22	3	1	0.0	-3.551 4.417	<b>0.368</b>	4.463
23	2	1	0.0	-26.502 29.249	<b>11.749</b>	<b>35.632</b>
24	3	1	0.0	-41.039 44.466	<b>14.709</b>	<b>51.247</b>
25	2	1	450.0	-35.818 33.909	1.405	<b>35.901</b>

prut	pr.č.	stav	dx mm	Norm. napětí - / + MPa	Smyk. napětí MPa	von Mises - / + MPa
25	2	1	0.0	-33.143 31.234	<b>1.405</b>	33.232
26	2	1	0.0	<b>-59.891</b> <b>61.318</b>	<b>4.597</b>	<b>61.833</b>
27	2	1	0.0	<b>-60.301</b> <b>61.738</b>	<b>4.594</b>	<b>62.248</b>
28	2	1	450.0	<b>-0.150</b> <b>0.152</b>	0.038	<b>0.165</b>
28	2	2	450.0	-0.038 0.039	<b>0.039</b>	0.078
29	2	1	0.0	<b>-0.444</b> <b>0.434</b>	<b>0.085</b>	<b>0.467</b>
30	1	2	0.0	<b>-0.515</b> <b>0.419</b>	<b>0.040</b>	<b>0.520</b>



## Příloha 5

### Výsledky výpočtu ozubeného kola



- 6.1 Počty zubů pastorku / kola
- 6.2 Šířka pastorku / kola
- 6.3 Normální modul
- 6.4 Tečný modul
- 6.5 Normální rozteč
- 6.6 Čelní rozteč
- 6.7 Základní rozteč
- 6.8 Osová vzdálenost (roztečná)
- 6.9 Osová vzdálenost (výrobní)
- 6.10 Osová vzdálenost (pracovní)
- 6.11 Úhel záběru
- 6.12 Čelní úhel záběru
- 6.13 Valivý úhel záběru normální
- 6.14 Valivý úhel záběru čelní
- 6.15 Úhel sklonu zubů
- 6.16 Základní úhel sklonu
- 6.17 Průměr hlavové kružnice
- 6.18 Průměr roztečné kružnice
- 6.19 Průměr základní kružnice
- 6.20 Průměr patní kružnice
- 6.21 Průměr valivé kružnice
- 6.22 Výška hlavy zubu
- 6.23 Výška paty zubu
- 6.24 Tloušťka zubu na hlavové kružnici
- 6.25 Tloušťka zubu na hlavové kružnici
- 6.26 Tloušťka zubu na roztečné kružnici
- 6.27 Tloušťka zubu na roztečné kružnici
- 6.28 Tloušťka zubu patní kružnici
- 6.29 Jednotková tloušťka zubu na hlavové kružnici
- 6.30 Jednotkové přisunutí kol
- 6.31 Celková jednotková korekce
- 6.32 Jednotkové posunutí

z	17	17	
b	50	50	[mm]
mn	3		[mm]
mt	3,0000		[mm]
p	9,425		[mm]
pt	9,425		[mm]
ptb	8,856		[mm]
a	51,0000		[mm]
av	51,0000		[mm]
aw	51,0000		[mm]
α	20,00		[°]
α <sub>t</sub>	20,0000		[°]
α <sub>wn</sub>	20,0000		[°]
α <sub>wt</sub>	20,0000		[°]
β	0,00		[°]
β <sub>b</sub>	0,0000		[°]
da	57,0000	57,0000	[mm]
d	51,0000	51,0000	[mm]
db	47,9243	47,9243	[mm]
df	43,5000	43,5000	[mm]
dw	51,0000	51,0000	[mm]
ha	3,0000	3,0000	[mm]
hf	3,7500	3,7500	[mm]
s <sub>na</sub>	2,0222	2,0222	[mm]
s <sub>ta</sub>	2,0222	2,0222	[mm]
s <sub>n</sub>	4,7124	4,7124	[mm]
s <sub>t</sub>	4,7124	4,7124	[mm]
s <sub>b</sub>	4,6677	4,6677	[mm]
s <sub>a</sub> *	0,6741	0,6741	[modul]
d <sub>Y</sub>	0,0000		[modul]
x <sub>1</sub> +x <sub>2</sub>	0,0000		[modul]
x	0,0000	0,0000	[modul]



## Příloha 6

VVÚ na prutech zdvihového mechanismu, globální extrém prutu

Program : Nexis32 release 3.30.08

16. května 2012

Projekt : Dolní poloha mechanismu

Popis :

Autor : Vladimír Kaše

### Vnitřní síly na prutu(ech). Globální extrém

Lineární statický - nebezpečné nebo všechny kombinace

Skupina prutů :1/49

Skupina zatěžovacích stavů :1,

Čísla prutů, co zastupují páky mechanismu: 9, 10, 13, 14 15, 16, 17, 18

#### Extrémní zatížení 1

prut	pr.č.	stav	dx [mm]	N [N]	Vy [N]	Vz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
11	1	1	0.0	<b>8023.090</b>	1.470	0.495	0.000	-0.034	-0.882
9				<b>-4309.623</b>	-4.685	<b>1256.299</b>	3.256	-328.758	2.370
18				3997.149	<b>4.721</b>	410.729	3.256	-208.886	-0.259
17				3997.149	<b>-4.721</b>	410.729	-3.256	-208.886	0.259
15				-4300.737	-4.720	<b>-1257.408</b>	-3.256	329.413	2.384
22				0.001	0.828	1247.463	<b>26.364</b>	-243.768	0.178
21				0.001	-0.828	-1247.463	<b>-26.364</b>	36.911	0.365
9			560.0	-4309.623	-4.685	1256.299	3.256	<b>374.771</b>	-0.253
15				-4300.737	-4.720	-1257.408	-3.256	<b>-374.737</b>	-0.259
18				3997.149	4.721	410.729	3.256	21.122	<b>2.384</b>
17				3997.149	-4.721	410.729	-3.256	21.122	<b>-2.384</b>

#### Extrémní zatížení 2

prut	pr.č.	stav	dx [mm]	N [N]	Vy [N]	Vz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
9	1	1	0.0	<b>11723.503</b>	<b>-4.667</b>	1196.987	3.194	-314.992	<b>2.353</b>
11				<b>-23471.480</b>	1.442	-1.448	0.000	0.101	-0.865
10				11723.503	<b>4.667</b>	1196.987	-3.194	-314.992	<b>-2.353</b>
3				-0.000	-2.421	<b>1223.799</b>	<b>20.312</b>	-36.212	0.490
4				-0.000	2.421	<b>-1223.799</b>	<b>-20.312</b>	239.143	-0.055
9			560.0	11723.503	-4.667	1196.987	3.194	<b>355.322</b>	-0.261
15				11697.509	-4.559	-1193.741	-3.195	<b>-355.422</b>	-0.242

### Extrémní zatížení 3

prut	pr.č.	stav	dx [mm]	N [N]	Vy [N]	Vz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
9	1	1	0.0	<b>3510.169</b>	-7.292	962.667	5.059	-327.637	3.688
47				<b>-3876.473</b>	-0.000	1.391	0.000	27.730	-0.000
18				-134.212	<b>7.322</b>	671.629	5.059	-160.044	-0.400
17				-134.212	<b>-7.322</b>	671.629	-5.059	-160.044	0.400
3				-0.000	0.696	<b>1938.237</b>	13.865	-57.350	0.404
4				-0.000	-0.696	<b>-1938.237</b>	-13.865	<b>378.753</b>	0.560
35				12.121	2.948	-684.800	<b>28.675</b>	194.811	-0.259
36				12.121	-2.948	-684.800	<b>-28.675</b>	194.811	0.259
21			225.0	0.002	-0.696	-1938.237	-14.004	<b>-378.753</b>	0.361
18			560.0	-134.212	7.322	671.629	5.059	216.069	<b>3.700</b>
17				-134.212	-7.322	671.629	-5.059	216.069	<b>-3.700</b>



## PS 315/25-75K

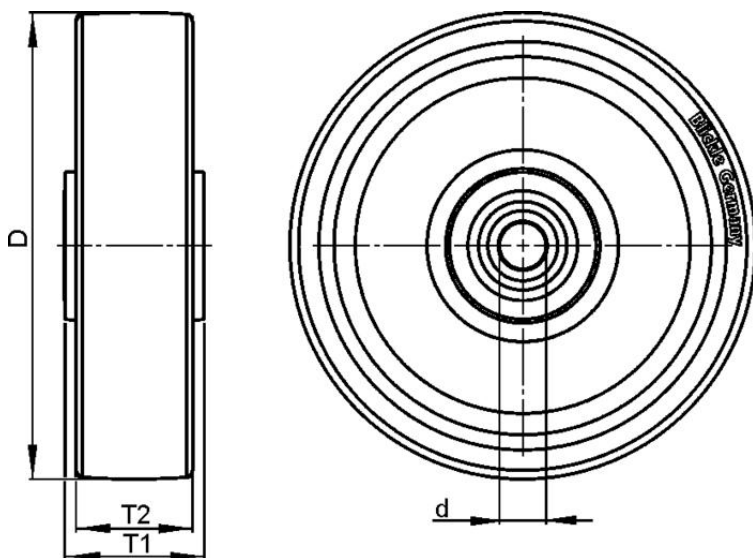


### Obruč / běhoun:

průmyslové pneumatiky pro vysokou zátěž, blokový profil, 6-ti plátňové (ply-rating), s duší.

### Disk / korpus kola:

těžké provedení s nízkým ložem ráfku lisované z ocelového plechu, šroubované, s navařeným ocelovým nábojem, s mazničkou, zinkováno-chromátováno.



### Technické údaje:

Ø kola (D)	305 mm
šířka kola (T2)	105 mm
rozměr pneumatiky	4.00-4
počet pláten	6
dezén	blokový dezén
nosnost při 4 km/h	550 kg
nosnost při 25 km/h	400 kg
tlak v pneumatice	7,5/110 bar/psi
druh ložiska	kuli kové ložisko
Ø otvoru na osu (d)	25 mm
délka náboje (T1)	75 mm
Kusová hmotnost	3.31 kg
Teplotní odolnost od	-30 °C
Teplotní odolnost do	80 °C
Tvrdość běhounu	

valivý odpor  
 Hlasitost chodu  
 šetření pojízdné plochy  
 Oděr





## Příloha 8

### 1. Celkový pohled na manipulátor v základní poloze

- boční pohled



- celkový pohled

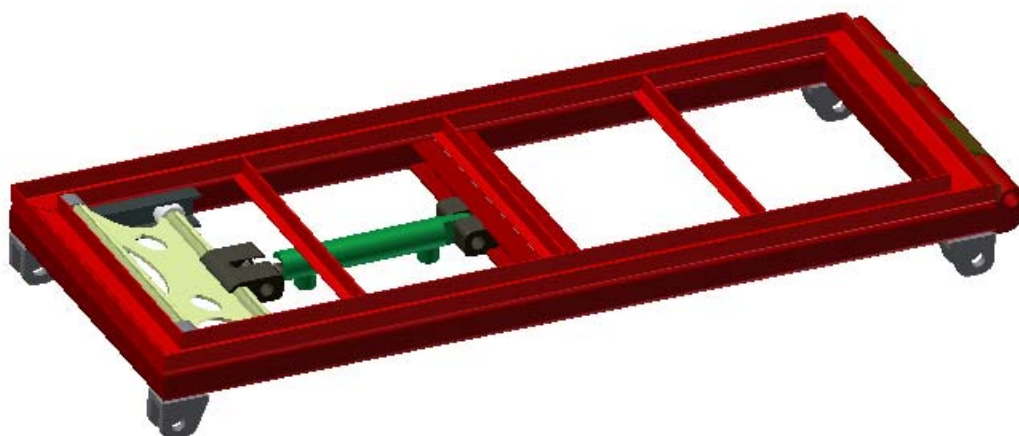


## 2. Celkový pohled na manipulátor v maximální zdvihové poloze

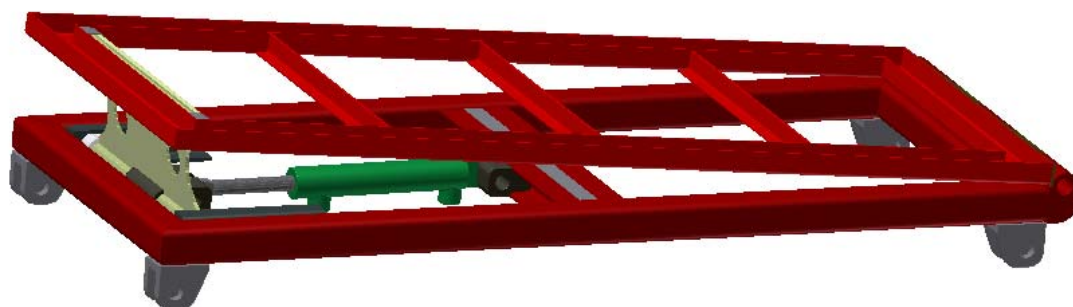


### 3. Horní rám

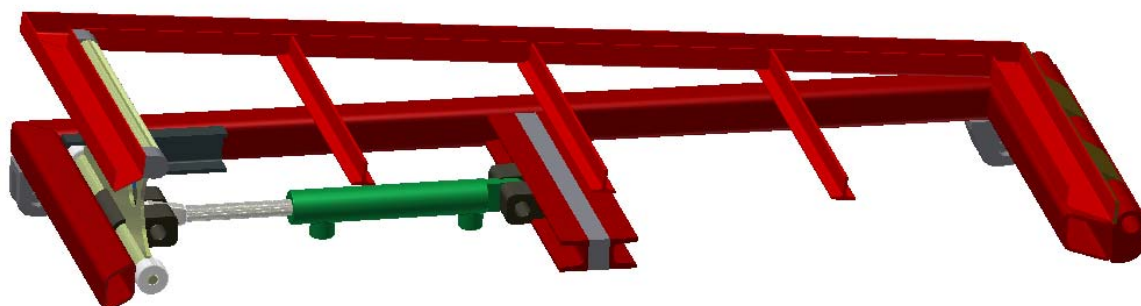
- horní rám



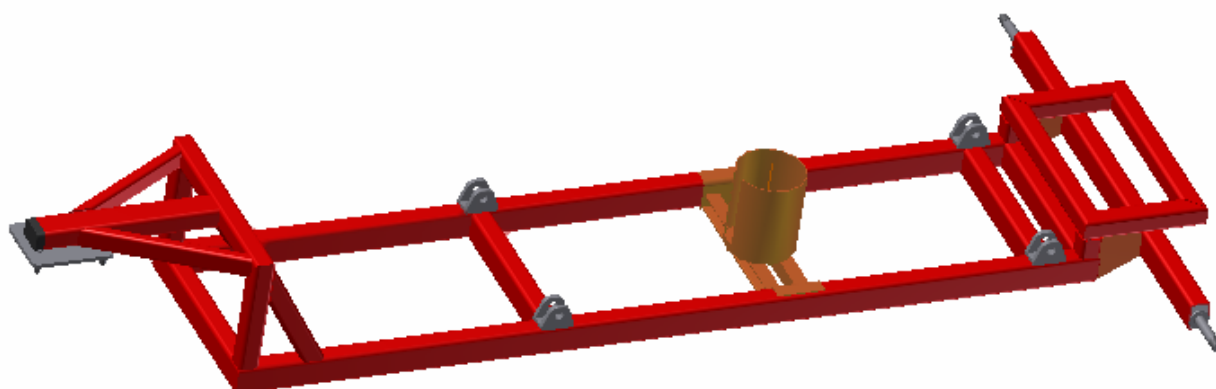
- horní rám při nastavení úhlu sklonu



- horní rám v řezu



#### 4. Nosný rám



#### 5. Přední otočný uzel



#### 6. Ozubený mechanismus

